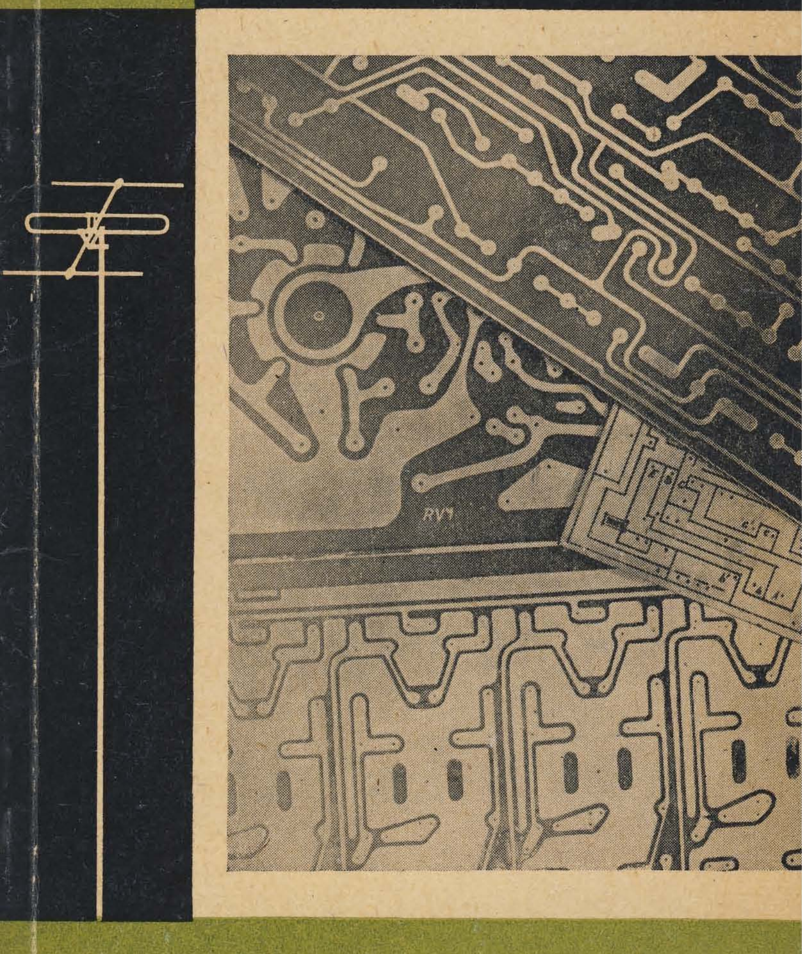
26

# DER PRAKTISCHE FUNKAMATEUR




Klaus Schlenzig

# Die Technik der gedruckten Schaltung für den Amateur

Der praktische Funkamateur · Band 26

Technik der gedruckten Schaltung für den Amateur
Teil I: Grundlagen und Technologie

KLAUS SCHLENZIG

# Die Technik der gedruckten Schaltung für den Amateur

Teil I: Grundlagen und Technologie




VERLAG SPORT UND TECHNIK · 1962

Redaktionsschluß: 15. Januar 1962

Lektor: Sonja Topolov

Herausgegeben vom Verlag Sport und Technik, Neuenhagen bei Berlin



Gedruckt in der Deutschen Demokratischen Republik

Zeichnungen: Hildegard Seidler, Berlin

Fotos: Ing. Oberrender und Archiv des Verfassers

Lizenz-Nummer: 545/8/62

Druckbogen: 5,25 Verlagsbogen: 4,5 Preis: 1,90 DM

Gesamtherstellung: (204) VEB Graphische Werkstätten Berlin, Werk I 10 2751

# VORWORT

Von Zeit zu Zeit vollzieht sich auch in der Technik, dialektischen Gesetzen gehorchend, ein Sprung in eine neue Qualität. Wie vor über einem Jahrzehnt der Transistor sich anschickte, die Elektronenröhre, ein bewährtes Bauelement seit langer Zeit, zu verdrängen, so trat damals auch ein Wandel auf einem anderen Gebiet ein. Bedingt durch technische und wirtschaftliche Forderungen, entstand eine neue Konstruktions- und Fertigungsform elektronischer Geräte — die gedruckte Schaltung. Geplant ursprünglich vor allem zur Rationalisierung und Automatisierung des Produktionsprozesses, zeigen sich heute andere, wesentliche Vorteile dieser Technik. Die Vorteile können sich bis in die Sphäre des Amateurs auswirken, und dieser tut gut daran, sie zu gebrauchen. In der Deutschen Demokratischen Republik sind dazu jetzt alle Voraussetzungen gegeben. Die beschriebenen Verfahren lassen sich mit durchaus tragbarem Aufwand anwenden. Günstiger wird aber sein, wenn sich in den örtlichen Amateurfunkklubs die an der gedruckten Schaltung Interessierten zentrale Einrichtungen schaffen, mit denen weit wirtschaftlicher die Leiterplatten der in dieser neuen Technik geplanten Geräte hergestellt werden können.

Die vorliegende Broschüre bildet den ersten Teil einer umfassenden Darstellung der Anwendung gedruckter Schaltungen durch den Amateur, von der eine Kurzfassung bereits in der Zeitschrift „funkamateur“ erschien. An ihrem Ende steht die fertige Leiterplatte. Der zweite Teil wird sich mit dem Einsatz dieser Leiterplatte beschäftigen und enthält zum Nachbau geeignete Anwendungsbeispiele.

Für die Anregung zu dieser Arbeit, die Hinweise bei der Gestaltung und für die Anfertigung der Fotos bin ich Herrn Ing. Olaf Oberrender (DM 2 BUO) zu Dank verpflichtet, ebenfalls Herrn Dipl.-Ing. Guntram Seidel vor allem auch für die Bereitstellung von Bauelemente-Mustern.

Berlin, November 1961 — Klaus Schlenzig

# INHALTSVERZEICHNIS

# 1. ÜBERBLICK

## 1.1 Warum gedruckte Schaltungen?

Die Einführung neuer technologischer Verfahren in die Produktion hat meist eine ganze Reihe von Gründen. In der Fertigung elektronischer Geräte überwog bisher der manuelle Anteil der Montagearbeiten. An Fließbändern waren viele Arbeitskräfte damit beschäftigt, Teile zu montieren, Bauelemente einzulöten und Verbindungsdrähte zu legen. Der Bedarf an solchen Geräten stieg auf allen Gebieten ständig, doch der Steigerung der Produktivität waren Grenzen gesetzt. Gleichzeitig machte sich ein immer stärkerer Arbeitskräftemangel bemerkbar. Die fertigen Geräte wiederum wiesen infolge menschlichen Versagens oft Schaltungsfehler auf, die gesucht und beseitigt werden mußten — ebenfalls von Menschen. Konnte man diese Arbeiten Maschinen übertragen?

Es läßt sich leicht einsehen, daß eine Montage- und Lötmaschine für die dreidimensionale Verdrahtung von Geräten sehr kompliziert und störanfällig sein würde. Darum war es notwendig, von der Nachahmung menschlicher Handgriffe abzugehen und mit einem grundsätzlich anderen Konstruktionsprinzip zu arbeiten. Welche Arbeitskraft- und Zeiteinsparung ergibt schon allein die Möglichkeit, die z. B. 200 Verbindungsstellen eines Rundfunkempfängers in einem Arbeitsgang von wenigen Sekunden Dauer zu löten! Das aber setzt voraus, daß diese Lötstellen alle in einer Ebene liegen. Die Anordnung der Verdrahtung mußte also zu einer zweidimensionalen werden. Drähte als Verbindungselemente hätten jedoch weiterhin Lötösen erforderlich gemacht, ihre Anbringung wäre kompliziert und zeitraubend geblieben. Man suchte daher nach anderen „Leitungsmustern".

## 1.2 Wege zur gedruckten Schaltung

Schon in der Jugendzeit des Rundfunks wurden Versuche unternommen, die Verdrahtung eines Gerätes als Ganzes herzustellen. Man stanzte z. B. Blechstreifen aus, die – auf eine Kunststoffplatte genietet – die Verbindungen ergaben. Ein wesentlicher Fortschritt u. a. bezüglich Zeiteinsparung ließ sich hierdurch aber aus verschiedenen Gründen nicht erzielen.

Weit besser erschien der Weg, auf irgendeine Weise unter Verwendung von Schablonen Leitungsmuster auf Isolierplatten zu bringen. Groß ist die Zahl der sich dabei bietenden Möglichkeiten. Im folgenden sei ein kurzer Überblick gestattet, der mehr das Verständnis für die vielfältigen Formen der Technik der gedruckten Schaltungen fördern als praktische Anregungen geben soll.

### 1.21 Keramische Technik

Schon seit etwa drei Jahrzehnten wird in der Elektrotechnik das Einbrennen gut leitender Beläge vor allem aus Silberpasten auf keramischen Trägern angewandt. Zunächst (und auch heute noch) fertigte man auf diese Weise keramische Bauelemente, vor allem Kondensatoren, aber auch Spulen. Es lag nahe, beide als Schwingkreis zu einer Einheit auf einem gemeinsamen Träger zu verbinden und auch andere Bauelemente hinzuzufügen. So entstanden die ersten gedruckten Schaltungen. Der keramische Träger wird zunächst geformt, mit den gewünschten Lochungen oder Vertiefungen versehen und gebrannt. Das Leitungsmuster kann danach, abhängig vom Verfahren, als leitende Paste in entsprechende Vertiefungen eingebracht oder im Siebdruck auf die Oberfläche des Trägers gedruckt werden. Nach diesem Arbeitsgang erfolgt das Einbrennen des etwa 30 $\mu$m dicken Belages, der danach noch galvanisch verstärkt werden kann und damit lötfähig ist. Durch geeignete Wahl des Trägers lassen sich bei beidseitigem Bedrucken Kapazitäten bestimmter Eigenschaften in das Muster einbeziehen. Das Drucken zuverlässiger

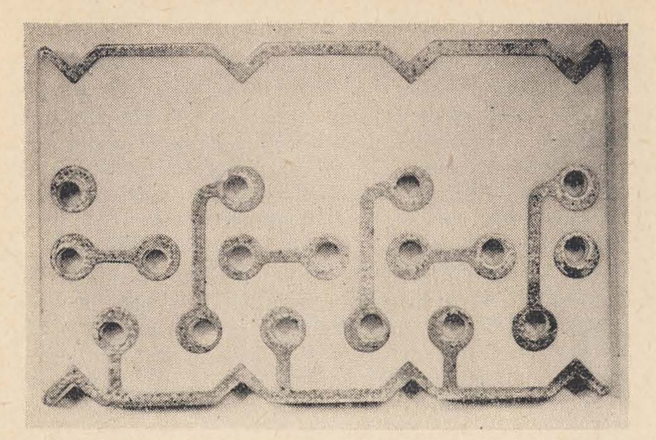


Bild 1. Keramische Leiterplatte

Widerstände, z. B. aus Kohleemulsion, ist dagegen weit schwieriger. Daher werden Widerstände meist nachträglich eingelötet. Keramische Leiterplatten zeichnen sich durch gute HF- und Isolationseigenschaften aus. Die Leiterplatte eines kleinen Verstärkers, die in den Keramischen Werken Hermsdorf gefertigt wurde, zeigt Bild 1.

Die konsequente Anwendung der keramischen Technik stellt das etwa 1950 in den Vereinigten Staaten begonnene „Projekt Tinkertoy“ dar. Dabei werden alle Arbeitsgänge von der Rohstoffverarbeitung bis zum fertigen Gerät in einer Produktionsanlage zusammengefaßt. Das Konstruktions-Grundprinzip besteht in der Verwendung äußerlich gleicher keramischer Plättchen von etwa 22 mm Kantenlänge, die mit Grundschaltungen versehen werden. An den Rändern befinden sich lötfähige Kerben, in denen die Leitungszüge enden. Mit ebenfalls in keramischer Technik hergestellten Kondensatoren und flachen „Bandwiderständen“ bestückt, werden diese Plättchen zu Baugruppen übereinandergestapelt. Den oberen Abschluß bildet eine keramische Röhrenfassung. Die Verdrahtung dieser dreidimensiona-

len Anordnung zweidimensionaler Grundschaltungen erfolgt durch Steigdrähte, die die entsprechenden Kerben der Einzelplatten miteinander verbinden. Diese Baugruppen wiederum vereinigt ein in der Form dem Gerätevolumen angepaßter keramischer oder auch Hartpapierträger mit entsprechendem Leitungsmuster zum vollständigen Gerät. Dieses Prinzip ist, von den Investitionen her gesehen, nur für die Fertigung sehr großer Stückzahlen wirtschaftlich. Viele Einzelheiten jedoch konnten in andere Technologien gedruckter Schaltungen übernommen werden. Allerdings hat „Projekt Tinkertoy“ auch eine negative Wirkung. Sie liegt nicht in der technischen Konzeption, sondern im Wesen der Gesellschaftsordnung, in der diese entstand. Die Patentansprüche des Verfahrens sind der Praxis der kapitalistischen Konkurrenz entsprechend derart weitreichend, daß jeder Konstrukteur, der Leiterplatten gleich welcher Art zu einem Gerät zusammenfügen will, mit ihnen in irgendeiner Form in Berührung kommt. Beim Export dieser Geräte nach Ländern, in denen Tinkertoy-Ansprüche angemeldet wurden, ist es daher stets nötig, diese durch größeren Arbeitsaufwand zu umgehen.

Das „Projekt Tinkertoy“, entstanden zu einer Zeit, da noch die Elektronenröhre das Feld beherrschte, findet heute in der „Mikro-Modul-Technik“ seine Halbleitervariante. Wieder sind es keramische Plättchen, mit Leitungsmustern aus eingebranntem Silber versehen, die Träger der verschiedensten Bauelemente werden. Diese Bauelemente entstehen z. T. ebenfalls in Drucktechnik, z. T. werden sie durch Schablonen aufgedampft. Die Plättchengröße hat sich gegenüber „Tinkertoy“ verringert. Nicht eine Röhre bildet jetzt den Abschluß eines Moduls, sondern als aktive Bauelemente kommen ausschließlich Halbleiter zum Einsatz, in ihrer Form den Forderungen der Stapeltechnik angepaßt. Geblieben ist die Verbindung der Einzelplättchen durch Steigdrähte in Kerben. Dies ist die Technik, in der Rundfunkempfänger von ungewöhnlicher Kleinheit entstanden,

von denen die Fachpresse berichtete. Allerdings liegt der zweckmäßige Einsatz der Mikro-Modul-Technik mehr auf dem Gebiet kommerzieller Anwendungen mit vielen gleichartigen Bausteinen, wie sie von der fortschreitenden Automatisierung des Produktionsprozesses gefordert werden (z. B. elektronische Rechenmaschinen u. a.). Für diese Zwecke befindet sich auch in der DDR ein entsprechendes System von Grundbausteinen in der Entwicklung. So hat bis heute die keramische Technik ihren Platz in der großen Zahl möglicher Verfahren zur Herstellung von elektronischen Geräten behauptet.

### 1.22 Galvanische Technik

Hier müssen zwei Gruppen unterschieden werden. Nur in der ersten kommt der Isolierstoff-Träger mit dem galvanischen Bad in Berührung. Das hat u. a. den Nachteil, daß Badreste im Träger bleiben und später korrodierend wirken können. Außerdem ist es hier notwendig, daß der Träger zunächst einen leitfähigen Überzug erhält, der nach dem Galvanisieren an den nicht benötigten Stellen wieder entfernt werden muß. Die Haftfestigkeit derartiger Überzüge ist problematisch. Als Vorteil ist zu verzeichnen, daß beidseitige Leitungsmuster möglich sind, die man außerdem sofort (durch entsprechende Bohrungen im Träger) im Zuge des Galvanisierungsprozesses miteinander geeignet verbinden kann. Damit auf dem leitenden Belag nur das gewünschte Leitungsmuster niedergeschlagen wird, ist es notwendig, die Platte vor dem Galvanisieren mit einem Negativbild des Leitungsmusters zu bedrucken. Das sofortige positive Bedrucken mit leitfähiger Schicht andererseits würde bei n Leitungszügen n Anschlüsse für die Stromzuführung erfordern oder Verbindungsstege zwischen den Leitern, die später entfernt werden müssen.

In der zweiten Gruppe wird das Leitungsmuster auf einer entsprechend abgedeckten polierten Stahlplatte niedergeschlagen und danach mit oder ohne Zwischenträger auf das Isoliermaterial geklebt bzw. gepreßt.

Dabei kommt der Isolierstoff nicht mit dem Bad in Berührung, seine elektrischen und klimatischen Eigenschaften werden also nicht beeinträchtigt. Nachteilig gegenüber der ersten Gruppe ist lediglich, daß keine zweiseitigen, miteinander verbundenen Muster in einem Arbeitsgang möglich sind.

### 1.23 Andere Verfahren

Die Aufgabe, auf einem Isolierstoff-Träger zweidimensionale Leitungszüge anzubringen, läßt sich noch auf viele andere Arten lösen. So wurden z. B. bereits flüssige Metalle aufgespritzt, aus Blech gestanzte Leiter aufgeklebt oder eingepreßt, Silberpulver mittels angewärmter Stempel in Hartpapier gedrückt und gesintert usw. Alle diese Möglichkeiten haben Vor- und Nachteile. Nur die konsequente Anwendung des einmal gewählten Verfahrens aber kann zu positiven Ergebnissen führen. Das muß kein Werturteil für andere Möglichkeiten sein.

Am weitesten verbreitet sind heute die keramische und die Folienätztechnik. Daher wurde die letztgenannte bewußt an das Ende dieses Überblickes gestellt, denn sie liefert als einziges der bekannten Verfahren für die Selbstherstellung gedruckter Schaltungen brauchbare Resultate bei tragbarem Aufwand.

### 1.24 Folienätztechnik

Alle bisher beschriebenen Verfahren setzten mehr oder weniger konsequent voraus, daß der Geräteproduzent gleichzeitig maßgeblichen Anteil an der Herstellung des benötigten Halbzeuges nahm, d. h., daß das Aufbringen des leitenden Belages auf den Isolierstoffträger erst dann geschah, wenn das spezielle Leitungsmuster bereits vorlag (so z. B. Silberdruck auf Keramikplatte, Galvanisieren auf Hartpapier-Platte oder Ausstanzen von Leitungszügen, Aufspritzen von Metall oder Einpressen von Metallpulver). Besonders von der Warte des Amateurs aus betrachtet, haften all diesen Möglich-

keiten derart viele Mängel und Unsicherheiten an, daß sie auf Grund seiner geringen Mittel von vornherein ausscheiden.

Die Folienätztechnik dagegen setzt ein entsprechend vorbereitetes Ausgangsmaterial voraus. Es ist dies ein isolierender Träger mit einer 35 (seltener 70) $\mu$m dicken Kupferfolie. Für Spezialzwecke kommen auch andere Metalle in Frage. Der isolierende Träger besteht meist aus Hartpapier mit hohem Harzgehalt und wird in verschiedenen Dicken geliefert. Am häufigsten eingesetzt wird kupferkaschiertes Material mit einer Dicke von 1,5 mm. Der Verbraucher erhält damit ein Halbzeug, dessen Daten vom Hersteller garantiert werden. Zu diesen Daten gehören Angaben über Wärmefestigkeit, Abzugsfestigkeit, Klimaverhalten, Lochbarkeit u. a.

Damit auf dem Halbzeug das Leitungsmuster entsteht, müssen alle Teile der Kupferkaschierung, die nicht zu dem gewünschten Leitungsbild gehören, abgetragen werden. Dazu bedient man sich des Ätzens, daher der Name des Verfahrens. Der Vorgang des Ätzens bedingt eine entsprechend widerstandsfähige Deckschicht auf den Partien der Folie, die später das Leitungsmuster bilden sollen. Dieses ätzfeste Bild läßt sich auf drei Arten, die dem grafischen Gewerbe entlehnt wurden, herstellen:

#### 1.241 Fotomechanische Bildübertragung

Die ätzfeste Schicht wird aus einem lichtempfindlichen Überzug gewonnen, den die gesäuberte Halbzeugplatte auf der Folienseite erhält. Ein Negativ des Leitungsmusters, an den schwarzen Stellen völlig undurchsichtig, wird fest auf die Schicht gepreßt. Durch seine durchlässigen Partien, die dem Leitungsmuster entsprechen, härtet Licht mit ultraviolettem Anteil die darunter liegenden Teile der Schicht aus. Die unbelichteten, löslich gebliebenen Stellen werden anschließend herausgelöst, so daß dort in einem Ätzbad das Kupfer entfernt werden kann. Auf die Einzelheiten dieses Verfahrens wird in Kapitel 3 näher eingegangen, denn es ist, entgegen allen anderslautenden Ansichten, auch für

den Amateur sehr gut geeignet. Abgesehen von wenigen Ausnahmen, wo entsprechende Einrichtungen zur Verfügung stehen, wird das fotomechanische Verfahren hauptsächlich für kleine Stückzahlen oder für sehr hohe Ansprüche an die Genauigkeit der Übertragung eingesetzt.

1.242 Siebdruck

Ein in einen Rahmen straff eingespanntes Gazesieb wird mit einer lichtempfindlichen Schicht versehen und mit einem Diapositiv des Leitungsmusters zusammen ultraviolettem Licht ausgesetzt. Dabei härten die Teile des Musters aus, die später im Kupfer weggeätzt werden sollen. Die dem Leitungsmuster entsprechenden Partien der Schicht werden aus dem Sieb herausgelöst, so daß dieses dort offene Maschen erhält, während die ausgehärtete Schicht alle anderen Flächen undurchlässig macht. Das Sieb stellt man mit geringem Abstand über der zu bedruckenden Platte auf. Eine ätzfeste plastische Spezialfarbe wird nun mittels einer linealähnlichen Gummi-„Rakel“ über das Sieb gestrichen und drückt sich dabei durch die offenen Maschen auf die Kupferfolie. Das Sieb schnellt zurück, während die Farbe infolge ihrer Beschaffenheit auf der Folie haften bleibt. Der Vorgang wird schematisch in Bild 2 wiedergegeben. Die Maschenstruktur des Siebes ist lediglich als feine Zähnung an den Konturen der Farbflächen erkennbar, die Farbe selbst bildet eine zusammenhängende Deckschicht.

Für hohe Ansprüche läßt sich auch die Randzähnung beseitigen. Dazu wird die Schablone nicht unmittelbar auf dem Sieb, sondern auf einem Spezialpapier erzeugt und dessen Schablonenschicht erst nach Belichtung und Herauslösen der unbelichteten Stellen auf das Sieb übertragen. So werden im Unterschied zum ersten Verfahren Maschen auch zur Hälfte gefüllt, so daß die Zähnung des Randes verschwindet. Diese Methode nennt man Zwischenträgerverfahren mit Pigmentpapier.

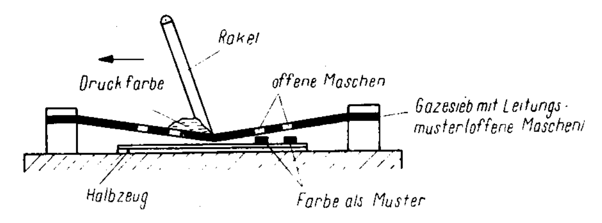



Bild 2. Siebdruck (schematisch)

In beiden Fällen muß die ätzfeste Farbe vor dem Ätzen getrocknet sein. Die Genauigkeit, d. h. die Reproduzierbarkeit des Musters, ist geringer als beim fotomechanischen Verfahren. Siebdruck eignet sich für mittlere Stückzahlen, wie sie z. B. in der nichtstandardisierten Rundfunkgeräte-Fertigung oder bei Meßgeräten vorkommen. Der Aufwand ist, bis auf die Herstellung des Siebes selbst, als außerordentlich gering zu bezeichnen. Bei entsprechender Pflege kann das Sieb für mehrere tausend Drucke verwendet werden. Halbautomatische Siebdruckmaschinen gestatten eine hohe Arbeitsproduktivität, doch auch der Handdruck mit einfachsten Mitteln kann für kleinere Stückzahlen durchaus brauchbare Ergebnisse liefern. Näheres zu diesem Verfahren ist [1] zu entnehmen.

Die Selbstanfertigung einer Siebdruckschablone setzt einige Kenntnisse und Fertigkeiten voraus. Man sollte sie, wird die Anwendung von Siebdruck erwogen, bei einem einschlägigen Betrieb fertig beziehen, dem das Negativ des Leitungsmusters anzuliefern wäre. Das wird aber höchstens dann in Frage kommen, wenn etwa ein Amateurgerät in einer größeren Anzahl von Exemplaren gefertigt werden soll, wie das in den geplanten zentralen Radioklubs der Fall sein kann. Sonst stellt das fotomechanische Verfahren bei den kleinen Stückzahlen des Amateurs die wirtschaftlichste Lösung dar.

### 1.243 Offsetdruck

Für sehr große Auflagen, wie sie z. B. bei den im Leitungsmuster einander anpaßbaren Baugruppen elek-

tronischer Rechenmaschinen auftreten oder bei den standardisierten Bausteinen unserer modernen Fernsehempfänger, stellt der Offsetdruck das geeignete Verfahren dar. In diesem Falle nämlich ist eine Offsetdruckpresse im Aufwand gerechtfertigt. Bei ihr wird ein ebener Druckstock, der das Leitungsmuster trägt, mit Druckfarbe eingefärbt. Nur die späteren Leiterflächen nehmen Farbe an, die dann von einer Gummituch-Walze übernommen und auf die Halbzeugplatte übertragen wird. Auf der Maschine befindet sich dabei auf der einen Seite der Druckstock, auf der anderen wird das Halbzeug eingelegt. Ein Wagen, der Farbbehälter, Farbwalze und Druckwalze enthält, fährt abwechselnd über Druckstock und Halbzeug. Dabei führt er die beschriebenen Operationen aus. In der Druckpause werden die bedruckten Platten durch neue ersetzt. Ein Schema des Offsetdruckes zeigt Bild 3.

Der Farbauftrag der die Presse verlassenden Platten ist naturgemäß nur dünn und keinesfalls ätzfest. Er wird durch aufgestreutes Asphaltpuder o. ä. verstärkt, das an den eingefärbten Stellen haftenbleibt und bei 60 bis 80 °C zu einer ätzfesten Deckschicht wird. Mit geeigneten Einrichtungen läßt sich im Offsetdruck nahezu die Formtreue des fotomechanischen Verfahrens erzielen.

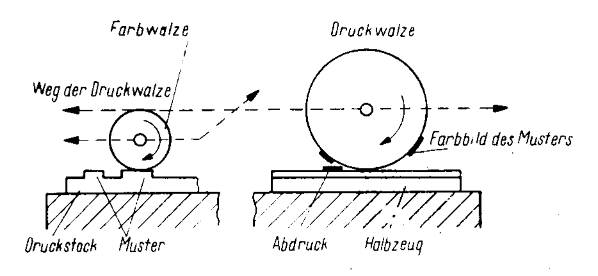



Bild 3. Offsetdruck (schematisch)

### 1.244 Die Leiterplatte

Jedes der drei geschilderten Verfahren erzeugt auf dem kupferkaschierten Halbzeug ein ätzfestes Bild der Leitungsführung. Im Ätzbad werden die ungeschützten Partien des Kupfers herausgelöst. Nach Säubern der Platte von Farbe und Ätzbadresten liegt das Leitungsmuster als System voneinander isolierter leitender Kupferflächen auf einem Isolierträger vor.

*Diese Verbindung eines Systems leitender Metallstreifen oder -flächen mit einer isolierenden Trägerplatte wird* **Leiterplatte** *genannt.*

## 1.3 Von der Leiterplatte zur gedruckten Schaltung

Es gab viele Versuche, auch im durch Folienätzung entstandenen Leitungsmuster in Drucktechnik Widerstände, Kondensatoren, Spulen und später sogar Dioden und Transistoren anzubringen, so daß eine echte „gedruckte“ Schaltung entstand. Bei den Widerständen ließen sich aber nur unbefriedigende elektrische Eigenschaften erzielen, während größere Kondensatoren zuviel Fläche beanspruchten oder mehrlagig und damit teuer ausgeführt werden mußten. Auch für Spulen erhielt man nur kleine Werte. Sinnvoll wurde daher ihr Einsatz erst bei höheren Frequenzen (> 10 MHz), und dort werden heute oft sowohl Kondensatoren als auch Spulen im Zuge des Leitungsmusters hergestellt, z. B. bei Kanalwählern in Fernsehempfängern (Bild 4). Nur die keramische Technik erlaubt größere Kapazitätswerte durch Verwendung entsprechender Dielektrika als Träger, und in der Mikromodul-Technik macht man davon Gebrauch. „Gedruckte“ Widerstände mit guten elektrischen Eigenschaften erzeugt man hier durch Aufdampfen dünner Metallschichten, und auch für „gedruckte“ Transistoren bestehen bereits Technologien. Dabei wird z. T. wieder mit Arbeitsgängen des fotomechanischen Verfahrens operiert, so bei der Erzeugung der Aufdampfschablonen.

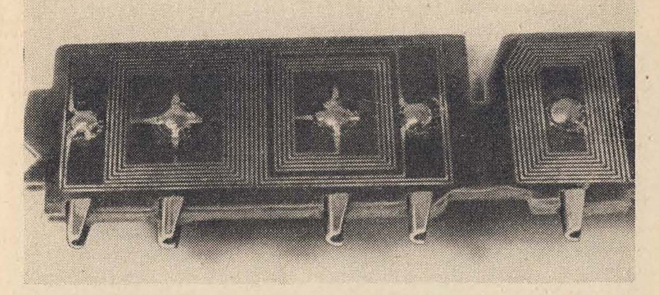


Bild 4. Gedruckte Spulen im Kanalwähler eines Fernsehempfängers

Die Zukunft der Folienätztechnik bezüglich der Erzeugung zuverlässiger Bauelemente im Zuge der Herstellung des Leitungsmusters scheint in der Verwendung von Mehrschichtmaterialien zu liegen, die außer einer gut leitenden Kupferschicht noch eine metallische Widerstandsschicht enthalten, aus der durch entsprechende Bemusterung (vorwiegend Mäanderanordnung zur günstigen Flächenausnutzung) die Widerstände der Schaltung geätzt werden. Das Material besteht z. B. aus Träger, Widerstandsschicht und Kupferschicht. Widerstands- und Leitungsmuster werden mit zwei Farben verschiedener Löslichkeit aufgedruckt. Im ersten Ätzgang entfernt man Kupfer- und Widerstandsschicht an den freiliegenden Stellen, löst dann die Deckfarbe über den als Widerstände geplanten Partien und ätzt dort nur das die Widerstandsschicht bedeckende Kupfer. Infolge der durch Belastbarkeit bezüglich der Breite nach unten und durch verfügbare Fläche nach oben begrenzten Widerstandswerte dürfte das Verfahren allerdings nur für eine beschränkte Zahl von Anwendungsfällen zweckmäßig sein.

Nach diesem Ausflug in die Möglichkeiten zukünftiger Entwicklung nun aber wieder zurück zur Gegenwart. Nochmals sei auf eine der Forderungen verwiesen, die am Anfang standen: Die dreidimensionale Verdrahtung

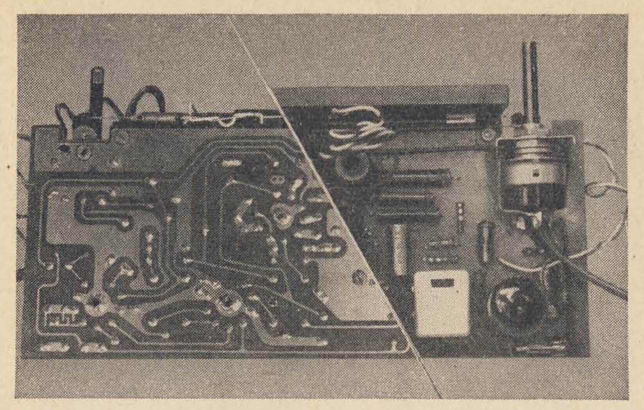


Bild 5. Gedruckte Schaltung: links Abschnitt des Leitungsmusters, rechts Abschnitt der Bauelementeseite

sollte zur zweidimensionalen werden, damit unter mindestens vorläufiger Weiterverwendung der bisher üblichen räumlichen Bauelemente (Röhren, Filter, Widerstände, Kondensatoren usw.) die Arbeit der Löterinnen von einer Tauchlöteinrichtung übernommen werden kann.

*Die Gesamtheit von Leiterplatte mit Leitungsmuster auf der einen (der* **Folien-** *oder* **Leiterseite***) und Bauelemente auf der anderen Plattenseite (der* **Isolierstoffseite***) wird auch bei Verwendung normaler Bauelemente als* **gedruckte Schaltung** *bezeichnet.* (Vgl. die Fotomontage in Bild 5, die einen Blick auf beide Seiten des Chassis des Empfängers „Minorette" gestattet).

In manchen Fällen werden Bauelemente auch auf der Leiterseite angebracht, u. a. dann, wenn der Volumenbedarf keine entscheidende Rolle spielt. Das trifft beispielsweise für Röhren in Fernsehempfängern zu, wobei thermische Gründe eine Rolle spielen. Dies erfordert aber Sondermaßnahmen beim Tauchlöten. Flächenhafte Bauelemente, die im Zuge der Herstellung des Leitungsmusters erzeugt werden, liegen selbstverständlich ebenfalls auf der Leiterseite.

### 1.4 Bauelemente für die gedruckte Schaltung

In diesem Abschnitt sollen nur einige allgemeine Gesichtspunkte hierzu erörtert werden. Auf Einzelheiten gehen Kapitel 2 und die zweite Broschüre zu diesem Thema ein.
Die Schaffung einer für maschinelle Bestückung geeigneten Technologie zweidimensionaler Leitungsmuster ist nur die Lösung einer Seite des Problems, denn wenn alle Lötstellen in einer Ebene liegen sollen, so muß das zunächst einmal für die Anschlüsse der verwendeten Bauelemente gelten. Betrachtet man aber das bisher angebotene Sortiment, so stellt man folgendes fest: Ein Teil (Festwiderstände, Kondensatoren usw. nach Bild 6, Röhren, Bandfilter) besitzt zwar Anschlüsse, die alle in einer Ebene liegen bzw. sich so biegen lassen, ein anderer (Trafos, Spulen, Drehkondensatoren, Potentiometer u. ä.) dagegen meist nicht. Doch auch die erste Gruppe ist nur zum Teil sofort für die neue Technik verwendbar.

Die Leiterplatte soll möglichst gleichzeitig als tragendes Konstruktionselement, also als Chassis, benutzt werden. Besonders größere Bauelemente müssen daher auf der Isolierstoffseite eine feste Standfläche erhalten. Das bedeutet, ihre Anschlüsse, die durch Lochungen der Platte zum Leitungsmuster geführt werden, müssen mit entprechenden Auflagekanten des Bauelementes zusammen nach dem Löten eine zuverlässige mechanische Befestigung ergeben. Die Anordnung auf der Isolierstoffseite erfordert also auf jeden Fall Lochungen. Unsere bisher üblichen Bauelemente besitzen nun Anschlüsse unterschiedlichster Form und Größe vom dünnen Draht bis zur breiten Lötfahne. Der mechanische Halt aber wurde größtenteils durch Schrauben, Nieten oder Schränklappen erzielt. Jedes dieser Befestigungselemente bedeutet zusätzliche Arbeit, es bedeutet außerdem die unterschiedlichsten Durchbrüche in der Platte. Man denke nur an die großen Bohrungen für Elkos mit Zentralbefestigung. Jedes größere Loch in einer Leiterplatte aber beansprucht nicht nur verwertbare Leiter-

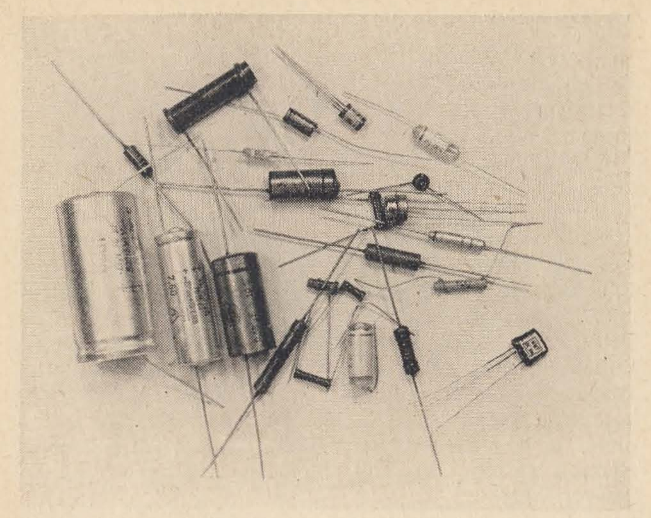


Bild 6. Für gedruckte Schaltungen unmittelbar geeignete Bauelemente

fläche. Vor allem erfordert es einen Arbeitsgang oder bei Lochung mit Komplettschnitt die verschiedensten Lochwerkzeuge. Das macht die Herstellung teuer und zeitraubend. Diesen Umständen Rechnung tragend setzte früh eine sinnvolle Normung ein. So wird angestrebt, für alle Anschlüsse nur Durchbrüche eines einzigen Durchmessers zu verwenden, so daß sich universelle Lochwerkzeuge einsetzen lassen, die die Herstellung verbilligen.

Neben die Forderung, daß alle elektrischen und mechanischen Anschlüsse in einer Ebene liegen müssen, trat damit die Forderung nach einer bestimmten einheitlichen Ausbildung dieser Anschlüsse. Das gewählte Normloch von 1,3 mm Durchmesser gestattete die sofortige Verwendung aller Bauelemente mit Drahtanschlüssen. Viele andere aber mußten entsprechend umgestal-

tet werden. Auch der Amateur kann hier für den eigenen Bedarf sehr viel tun, wie im zweiten Teil dieser Broschüre gezeigt wird.

### 1.5 Die automatische Produktion

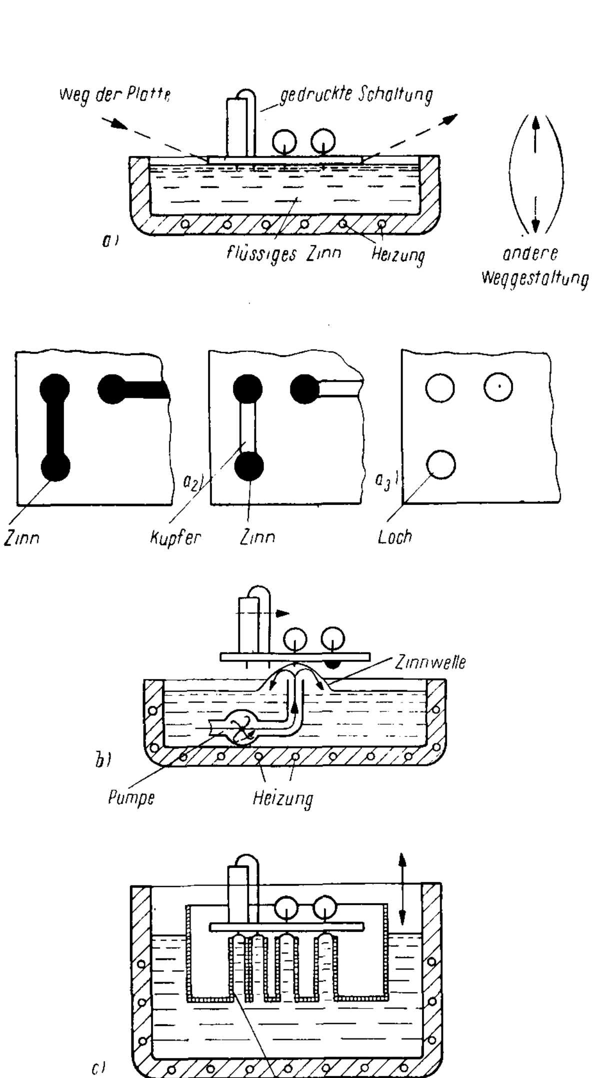
Die Leiterplatte gibt die Möglichkeit, eine wirtschaftliche Fertigung beliebiger Mengen elektronischer Geräte mit einem Minimum an menschlicher Arbeit durchzuführen. Der letzte Schritt in dieser Richtung ist das Einsetzen der Bauelemente durch Automaten. Das erfordert aber einen umfangreichen Maschinenpark und ist somit eine Investitionsfrage. Nicht jeder Betrieb wird daher so weit gehen. Die Stückzahl spielt dabei eine große Rolle, und die Standardisierung von Baugruppen ist ein Schritt auf diesem Wege. So wird also zunächst nur bei der Massenfertigung die „automatische Fabrik" sinnvoll. In unseren Fernsehgerätewerken sind solche Möglichkeiten gegeben. Die in großen Auflagen benötigten standardisierten Teilchassis eines Fernsehempfängers werden dann unter der Voraussetzung der Folienätztechnik etwa so hergestellt:

*Das kupferkaschierte Halbzeug wird in passende Stücke zugeschnitten und gelangt zunächst in den Siebdruckautomaten oder die Offsetpresse, erhält dort das ätzfeste Leitungsmusterbild und durchwandert eine Trockeneinrichtung. Von dieser wird es in die Ätzmaschine transportiert, in der alles überflüssige Kupfer in Lösung geht. Es verläßt sie nach Säuberung und Spülung getrocknet als Leiterplatte. Die Leiterplatte wird leiterseitig mit einem lötfähigen Schutzüberzug versehen und erhält in ein bis zwei Arbeitsgängen von entsprechend eingestellten Lochwerkzeugen alle Durchbrüche sowie die endgültigen Begrenzungsmaße. Sie gelangt nun in die Bestückungsstraße. In Takten von etwa zwei Sekunden wandert sie von Automat zu Automat und empfängt von jedem ein Bauelement, dessen Anschlüsse z. B. durch Umbiegen gesichert werden, wenn das Herausfallen nicht schon durch entsprechende Ausbildung dieser Anschlüsse verhindert wird.*

Letzte Hauptstation der Straße ist schließlich die Tauchlöteinrichtung. Ein Zinnbad von etwa 230 °C nimmt die Folienseite der Leiterplatte auf und lötet alle Anschlüsse in wenigen Sekunden. Nach Säuberung von Flußmittelrückständen und nach Überzug mit einem Schutzlack und Trocknung wird die fertige Baugruppe geprüft (auch diese Prüfung läßt sich automatisieren) und bildet schließlich mit anderen Baugruppen zusammen im Gehäuse das fertige Gerät.

In diesem Zusammenhang seien noch einige Worte zum Tauchlöten gestattet. Inzwischen hat sich gezeigt, daß auch ohne die Anwendung dieses Arbeitsganges die gedruckte Schaltung durchaus echte Vorteile bei der Fertigung elektronischer Geräte besitzt (siehe 1.6). Auf jeden Fall ist aber bei größeren Stückzahlen und bei gespannter Arbeitskräftesituation dem Tauchlöten vor der Handlötung der Vorzug zu geben. Auch dieses Verfahren ist durchaus nicht so einfach zu beherrschen, wie es auf den ersten Blick erscheinen mag. Die zuverlässige Tauchlötung einer nach oben hin abgeschlossenen Fläche wirft viele Probleme auf. Es seien hier nur die beim Löten entstehenden Flußmittelgase genannt, die das Verzinnen ganzer Flächen verhindern können. Eine gute Abstimmung zwischen Lötzeit, Temperatur und Flußmittelmenge sowie -beschaffenheit hat zu erfolgen, und die Werte müssen in engen Grenzen gehalten werden. Schon das Ein- und Ausfahren der Platte stellt einen Arbeitsgang dar, der großen Einfluß auf das Ergebnis hat. Es ist daher nicht verwunderlich, daß neben vielen verschiedenen Vorschriften auch

Bild 7. Verschiedene Möglichkeiten der Tauchlötung:
a) „klassische" Tauchlötung
$a_1$) mit Vollverzinnung
$a_2$) mit Selektivlötung
$a_3$) Lochmaske für $a_2$
b) Zinnwelle
c) Selektivlötung mit speziellem Einsatz


Weg der Platte
gedruckte Schaltung
a)
flüssiges Zinn
Heizung
andere Weggestaltung
a1)
a2)
a3)
Zinn
Kupfer
Zinn
Loch
Zinnwelle
b)
Pumpe
Heizung
c)
Einsatz mit Röhren

andere Verfahren genannt werden als das „klassische" Tauchlöten, bei dem die gesamte Plattenfläche gleichzeitig dem Bad ausgesetzt wird.

Erfolgversprechend ist z. B. die Schwall-Lötung, die aber einen größeren technischen Aufwand erfordert. Dabei wird eine stehende Zinnwelle erzeugt, über die die Platte gefahren wird. Weder Oxydhäute des Zinns noch Flußmitteldämpfe stören die Lötung, und die thermische Beanspruchung der Leiterplatte und der Bauelemente bleibt in tragbaren Grenzen. Noch aufwendiger ist die selektive Lötung mit einer Anordnung von Zinngefäßen, deren Zahl und Lage den Lötstellen entspricht. Das gleiche Lötbild erhält man weit einfacher durch Abdecken der Leiterseite mit einer wärmefesten gelochten Folie (auch Papier eignet sich), die nur die Lötstellen frei läßt. Die passivierende Wirkung eines geschlossenen Zinnüberzuges auf den Leitern spricht aber für Vollverzinnung. Der Mehrverbrauch an Zinn ist tragbar, wenn das Leitungsmuster entsprechend ausgelegt wird. Bild 7 gibt einen Überblick über die verschiedenen Möglichkeiten des Tauchlötens.

## 1.6 Die Vorteile der gedruckten Schaltung

Die Möglichkeit einer automatisierten Produktion mit einem Minimum menschlicher Arbeitskraft war einst eines der Hauptargumente für die Entwicklung der Technik der gedruckten Schaltungen. „Ganz nebenbei" ergeben sich aber eine Reihe weiterer Vorteile, und einige von ihnen sind es, die gerade auch für den Amateur die praktische Beschäftigung mit dieser Technik sehr zweckmäßig erscheinen lassen. Sie rechtfertigen weiterhin, daß (besonders bei kleinen Stückzahlen) Leiterplatten selbst da angewandt werden, wo keine automatische Bestückung in Frage kommt, ja wo oft nicht einmal tauchgelötet wird. Welche Vorteile sind das?

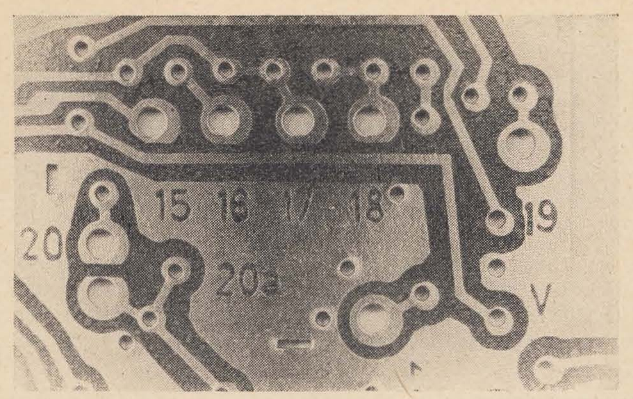



Bild 8. Wichtige Bezeichnungen lassen sich im Leitungsmuster eintragen

a) Ein einmal festgelegtes und geprüftes Leitungsmuster reduziert die Möglichkeit von Schaltungsfehlern auf ein Minimum. Es gewährleistet die völlige Gleichmäßigkeit aller Geräte einer Serie bezüglich Leitungskapazitäten und -induktivitäten. Damit wird der Abgleich vereinfacht.

b) Die Verwendung einer Leiterplatte als Chassis und die Anordnung aller Bauelemente auf der Isolierstoffseite, d. h. die Reduzierung der Bauhöhe der „Verdrahtungsseite“ auf die Höhe der Lötstellen, also auf etwa 2 mm, macht eine Verkleinerung des Gerätevolumens möglich. Dem kommt entgegen, daß die Fixierung auch der sonst oft „fliegend“ eingelöteten Bauelemente einen engeren Aufbau erlaubt, der trotzdem weniger störanfällig ist.

c) Auch der Amateur wird die vereinfachte Montage als sehr angenehm empfinden. Auf Schrauben kann fast ganz verzichtet werden, wenn die Bauelemente in geeigneter Form zur Verfügung stehen oder entsprechend umgestaltet werden, wie das mit Elkos und Filtern geschieht.

d) Trotz des möglichen engen Aufbaus wird die Schaltung übersichtlicher als eine dreidimensionale Verdrahtung, da alle Lötstellen frei zugänglich bleiben und sich leicht übersehen lassen. Besonders für Reparaturen ist das von großem Vorteil. Der Service läßt sich auch dadurch erleichtern, daß Meßpunkte im Leitungsmuster durch eingeätzte Schriftzeichen kenntlich gemacht werden können (siehe das typische Muster in Bild 8).

e) Die Leiterplattenkonzeption gestattet Konstruktionslösungen, die oft durch ihren geringen Aufwand verflüffen und neue Möglichkeiten eröffnen, wie in der zweiten Broschüre gezeigt wird.

### 1.7 Die Möglichkeiten des Amateurs

Der Amateur mag einwenden, daß diese Vorteile zwar nicht bestritten werden können, daß aber der Aufwand doch recht groß sei, bevor er zu einem Leitungsmuster gelange. Dieser Einwand läßt sich entkräften. Bisher wurde hauptsächlich davon gesprochen, wie ein Leitungsmuster auf einem Träger aufgebracht und mit Bauelementen zu einer gedruckten Schaltung verbunden wird. Vorausgehen aber muß nicht nur der Entwurf dieses Musters, sondern die Schaltung muß erprobt werden, bevor sie, vielleicht erst nach mehreren Änderungen, in Produktion gehen kann. Das endgültige Muster wird dann in einer vergrößerten Tuschezeichnung niedergelegt und wieder auf den Maßstab 1 : 1 verkleinert fotografiert, so daß größtmögliche Exaktheit und Konturenschärfe erzielt werden. Vom Negativ entsteht dann die Druckschablone für die Serie.

Für Labormuster ist dieser Aufwand nicht immer notwendig, oft aber sehr zeitraubend. Der Amateur befindet sich in ähnlicher Lage wie der Entwickler. Es gibt aber verschiedene Möglichkeiten, bedeutend schneller und einfacher, sogar ohne Verwendung einer Kamera, zu dem gewünschten kopierfähigen Negativ zu gelangen. Dennoch wird man dem hiervon mit dem foto-

mechanischen Verfahren hergestellten Leitungsmuster nicht ansehen, daß es auf so einfache Art entstand. Darauf soll im nächsten Kapitel näher eingegangen werden.

All denen, die diese allgemeinen Betrachtungen anregen, sich näher mit den Fragen der gedruckten Schaltung auseinanderzusetzen, sei das ausgezeichnete Standardwerk auf diesem Gebiet empfohlen [2].

## 2. DAS LEITUNGSMUSTER UND SEINE VORAUSSETZUNGEN

### 2,1 Normung

Gedruckte Schaltung und Normung hängen eng zusammen. Den Amateur wird diese Tatsache nicht so stark berühren wie den Ingenieur, doch sollte man sinnvoll begründete Regeln nicht negieren, denn diese bilden eine Voraussetzung für die wirtschaftliche Herstellung. Die beiden wichtigsten Festlegungen zur Gestaltung von Leiterplatten betreffen Durchbruch und Abstand. TGL 0—40 801 „Gedruckte Schaltungen – Richtlinien" sagt hierzu folgendes aus: „Alle Lochungen in der Leiterplatte sollen in den Kreuzungspunkten eines gedachten Netzes sich senkrecht schneidender Linien mit 2,5 mm Maschenweite liegen und einen Durchmesser von 1,3 mm besitzen (Bild 9). Halbierung dieses Abstandes auf 1,25 mm und Verwendung kleinerer Löcher ist für die Kleinbautechnik zulässig."

In der überwiegenden Zahl aller Anwendungsfälle wird ein Material benutzt, das bei einer Gesamtdicke von 1,5 mm eine Kupferauflage von 35 μm besitzt. Diese Dicke bietet für die meisten Zwecke den günstigsten Kompromiß zwischen Stabilität und kleinstem stanzbarem Durchbruch. Mit den 1,4-mm-Stempeln eines Lochwerkzeuges läßt es sich noch einwandfrei lochen. Die Öffnung läuft dann auf etwa 1,3 mm Durchmesser zusammen. Andere Materialdicken zwischen 1 und 3 mm sind in Stufen von 0,5 mm zugelassen. In 1-mm-

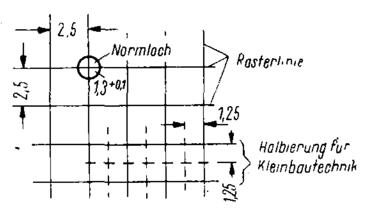



Bild 9. Rastermaß und Normloch (TGL 0-40801)

Halbzeug ist beispielsweise ein vielen Zwecken der Kleinbautechnik entgegenkommendes Loch von 1 mm Durchmesser stanzbar (beim Taschenempfänger „Sternchen"!). Eine weitere Verringerung des Lochdurchmessers bei entsprechender Halbzeugdicke bzw. bei Bearbeitung durch ein Bohrwerk wird für die meisten Zwecke sinnlos, da die Drahtanschlüsse der Bauelemente Durchmesser zwischen 0,5 und 0,8 mm besitzen bzw. speziell für gedruckte Schaltungen konisch zulaufende Lötfahnen von am oberen Ende maximal 1,3 mm Querschnittsdiagonale. Besonders bei maschineller Bestückung müssen aber vom Loch gewisse Toleranzen aufgefangen werden.

Die Forderung nach definiert gestuften Abstandswerten wird sowohl hinsichtlich einer wirtschaftlichen Herstellung (möglichst vielseitige Lochwerkzeuge) als auch bezüglich der Bauelemente und der Möglichkeit automatischer Bestückung verständlich. Größere Bauelemente mit starr angebrachten Anschlüssen würden jeweils eine andere Einstellung des Lochwerkzeuges erfordern, wenn diese Anschlüsse nicht ebenfalls in Abständen von ganzzahligen Vielfachen des Rastermaßes angebracht würden. Denkt man schließlich noch an Steckverbindungen mit ihrer Vielzahl von Anschlüssen, so wird klar, wie wichtig solche Vereinbarungen für die Praxis sind.

Die Auswirkungen einer Vereinheitlichung von Lochdurchmesser und Lochlage macht ein Vergleich des Aufwandes mit und ohne Normung deutlich. Ohne Normung erfordert jedes Leitungsmuster die Bemaßung jedes einzelnen geplanten Durchbruches in Lage und Größe. Ein diesem angepaßter Komplettschnitt mit entsprechenden Stanznadeln ist herzustellen, da für größere Serien Bohren unwirtschaftlich wird. Nach Auslaufen der Serie ist das Werkzeug für andere Zwecke unbrauchbar. Auch für sehr große Stückzahlen, denen die Lebensdauer des Schnittes angepaßt werden kann, ist ein solcher Spezialschnitt nicht ideal. Mit Normung dagegen enthält ein einheitliches Lochwerk-

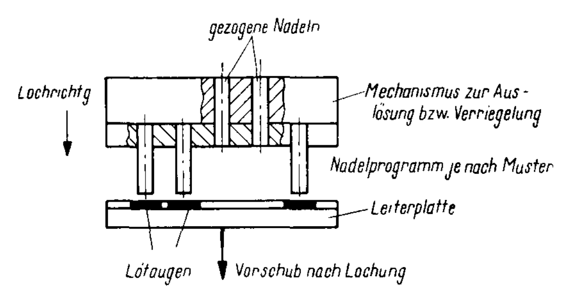



Bild 10. Möglichkeit für einen Zeilenlocher

zeug lösbare genormte Nadeln von 1,4 mm Durchmesser, die im Raster angeordnet sind. Die Belegung aller aufeinanderfolgenden Rasterpunkte ist aber nur schwer durchführbar. Daher muß normalerweise in mindestens zwei Arbeitsgängen gelocht werden. Dazu setzt man für jeden Arbeitsgang nur die gerade benötigten Nadeln ein. Wird statt eines flächenhaften ein linienhaftes Universalwerkzeug benutzt (Lochzeile), so ist mit erträglichem und einmaligem Aufwand ein automatisches Lochen möglich. Die Zeile enthält z. B. im Abstand von je zwei Rastereinheiten Nadeln. Diese werden aber nicht jedesmal neu eingesetzt, sondern eine Programmsteuerung übernimmt es, die für die jeweils benötigten Löcher einer Zeile erforderlichen Nadeln auszulösen. Die Leiterplatte bewegt sich in 2,5-mm-Schritten unter dem Werkzeug senkrecht zur Nadelzeile fort. Ein seitlicher Versatz von Werkzeug oder Platte um 2,5 mm erfaßt außerdem die längs der Lochzeile in geradzahligen Vielfachen des einfachen Rasterabstandes vorgesehenen Löcher. Ebensogut lassen sich auch zwei solcher Lochnadelreihen mit 2,5 mm Versatz hintereinander anordnen. Bild 10 skizziert diese Art des Lochens. Beide Werkzeugtypen haben den Vorteil einfachster Lagerhaltung und auch geringster Herstellungskosten bei Neubau infolge Verschleiß. Durch Vereinheitlichung

oft wiederkehrender Spezialausklinkungen größerer Abmessungen, wie sie sich nicht immer umgehen lassen, erhält ein entsprechend eingerichteter Betrieb einen guten Wirkungsgrad bei der Lochung von Leiterplatten beliebiger Stückzahlen.

Eine zweite Grundnorm, TGL 11 651 als Ersatz für TGL 0-40 802, enthält die Forderungen an das Basismaterial. Dort erscheinen auch Prüfverfahren, nach denen die Eignung des Halbzeuges beurteilt wird. Für die Einhaltung dieser Bestimmungen ist der Hersteller verantwortlich. In der überwiegenden Zahl aller Anwendungsfälle bieten die garantierten Werte eine gute Sicherheit, z. B. auch gegen die Parallelschaltung halbzeugbedingter Widerstände. Ein Blick auf den zugelassenen Verlustwinkel ($50 \cdot 10^{-3}$) macht dagegen verständlich, weshalb geätzte Kondensatoren nur in sehr wenigen Schaltungen verwendet werden, abgesehen von ihrer nur kleinen Kapazität.

Weitere Punkte dieser Norm betreffen Lötbarkeit, Abzugsfestigkeit, Lochbarkeit u. a. Damit weiß der Verbraucher stets, was er dem Halbzeug zumuten kann und wo besondere Maßnahmen erforderlich sind.

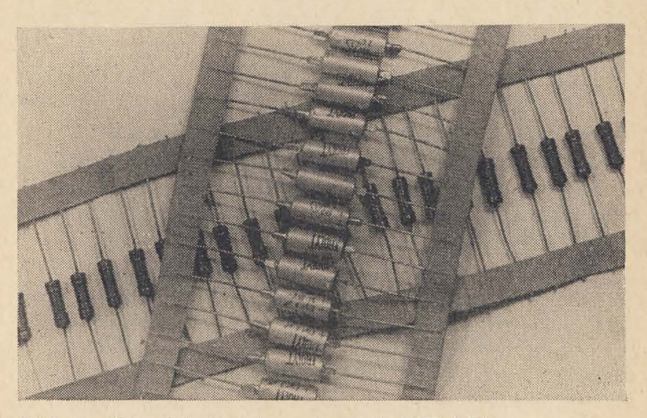


Bild 11. Gegurtete Bauelemente nach TGL 7771

Im Sinne möglichst billiger Massenherstellung und einfacher Bearbeitung wirkt das Normblatt „Leiterplatten-Hauptabmessungen“. Dort sind für die Konturmaße bei der längeren Seite Zehner-, bei der kürzeren Fünfersprünge zugelassen. Für Kleinbautechnik wird eine Norm vorbereitet, die eine entsprechend feinere Stufung zuläßt.

Auch für die Gestaltung des Leitungsmusters und die Zeichnungsunterlagen bestehen entsprechende Richtlinien.

Für die „automatische Fabrik“ schließlich gibt TGL 7771, „Gurtung von Bauelementen“, eine Voraussetzung bezüglich der rationellen Zulieferung der Bauelemente für Bestückungsautomaten (siehe Bild 11).

So sorgt ein umfangreiches, zum Teil noch in Arbeit befindliches Normenwerk für den bestmöglichen Einsatz der gedruckten Schaltung. Dem Amateur dagegen genügt die Kenntnis der in dieser Broschüre enthaltenen Richtlinien völlig.

## 2.2 Bauelemente

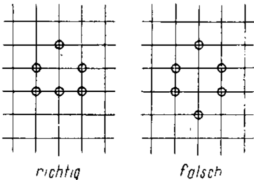
### 2.21 Normung und Gestaltung

Die Leiterplatte verlegt sämtliche Lötstellen in eine Ebene. Daher lauten die Grundforderungen an das Bauelement:

a) Alle elektrischen und der mechanischen Halterung dienenden Anschlüsse müssen in einer Ebene liegen oder sich leicht in diese Lage bringen lassen. Im Abschnitt „Normung“ ist ihre Lage definiert.

b) Alle Anschlüsse müssen in den Kreuzungspunkten eines Liniennetzes von 2,5 mm Maschenweite liegen oder sich leicht dorthin legen lassen. Als Schutz gegen Einreißen des Materials beim Lochen und zur Sicherung ausreichender Trenn- und Lötflächen sind benachbarte Rasterpunkte möglichst nicht zu belegen, besonders wenn diese verschiedenes Potential führen.

Bild 12. Anschlußschema eines Bauelementes



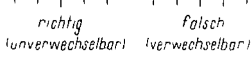
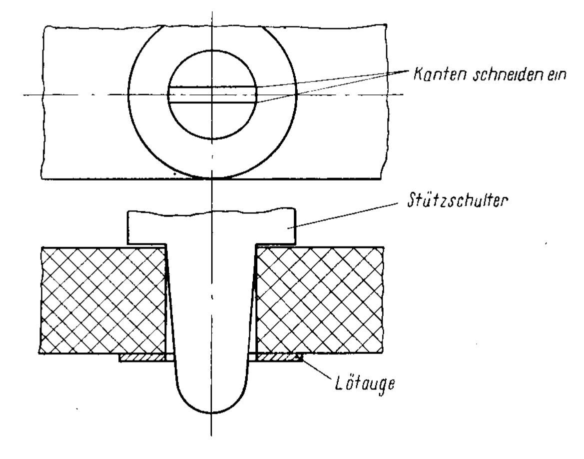



Bild 13. Typisches Anschlußelement von Bauelementen für gedruckte Schaltungen




c) Die Anschlüsse müssen in das Normloch von 1,3 mm Durchmesser passen. Das heißt: Fahnenanschlüsse sind schmaler als 1,3 mm, Drahtanschlußdurchmesser aus Toleranz- und Montagegründen wesentlich kleiner als 1,3 mm, höchstens 1 mm, zu halten. Auch Fahnenanschlüsse sollen sich zum Ende hin auf dieses Maß verjüngen.

d) Die Anordnung der Anschlüsse muß Verwechslungen beim Bestücken ausschließen (siehe Bild 12).

e) Die Anschlüsse müssen so ausgebildet sein, daß sie das Bauelement bis zur Lötung gegen Herausfallen sichern können. Drahtanschlüsse erfüllen diese Bedin-

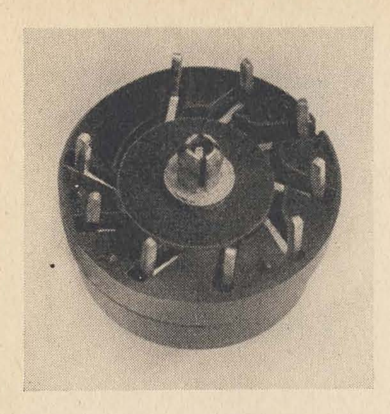


Bild 14
Röhrenfassung mit selbsthaltendem Rohrstück („snap in")

gung, wenn man sie umlegt. Nach unten konisch zulaufende Fahnen mit einer größten Querschnittsdiagonale von etwas mehr als 1,3 mm an der Auflagekante schneiden leicht in den Lochrand ein (Bild 13). Einige Bauelemente besitzen auch federnde Elemente zur Selbsthaltung. Als Beispiel diene, da am weitesten verbreitet, die *„snap-in"*-Befestigung von Röhrenfassungen mit einem geschlitzten Rohrstück, das in ein Führungsloch der Leiterplatte federnd „einschnappt" (Bild 14). Aus Herstellungsgründen liegen übrigens die Anschlüsse der Miniaturröhren-Fassungen noch nicht im Rastermaß, sondern auf einem Teilkreis von 16 mm (7pol.) bzw. 19 mm (9pol.) Durchmesser. Ihre Häufigkeit erlaubt ein Spezialwerkzeug für das Lochen.

f) Besonders bei Bauelementen größerer Masse (Potentiometer, Elkos für senkrechte Montage, Gleichrichter, Drehkondensatoren u. ä.) müssen die Anschlüsse derart ausgebildet werden, daß eine definierte Auflage gewährleistet ist, so daß beim Betrieb auftretende Beschleunigungen die Lötstelle nicht in Zugrichtung belasten können, sondern von der Auflage abgefangen werden (siehe Bild 13). Eine solche definierte Auflage, auch am Bauelementegehäuse, ist bei der Montage stets anzustreben.

g) Die Anschlußfläche soll möglichst die senkrechte Projektionsfläche des Bauelementes auf der Leiterplatte nicht wesentlich überschreiten und einen guten Stand des Bauelementes gewährleisten. Von diesem Gesichtspunkt aus stellt die in Bild 17 gezeigte Lösung kein Optimum dar, denn der senkrecht montierte Kondensator widersteht quer zur Verbindungslinie seiner beiden Anschlüsse angreifenden Kräften nur ungenügend. Sicherer wäre die Anbringung eines dritten (Blind-) Anschlusses.

Die Länge von Anschlüssen, die vor dem Löten umgelegt werden sollen, beträgt nach TGL 0-40 801 für Halbzeug bis 1,5 mm 4,5 ± 0,3 mm, gemessen von der Auflagekante. Die weiteren Anschlüsse sollen 1 ± 0,3 mm vom Ende der zuvorgenannten zurückstehen.

### 2.22 Verwendbarkeit klassischer Bauelemente

Aus den Forderungen in 2.21 folgt für die Verwendbarkeit der Bauelemente: Widerstände, Kondensatoren, Dioden, Kleinleistungstransistoren u. ä. mit Anschlüssen nach Punkt c) sind unmittelbar geeignet (siehe Bild 6), denn Drähte und schmale Fahnen lassen sich in jede beliebige Anschlußebene biegen, so weit es ihre Länge zuläßt. Sehr viele andere Bauelemente sind mit geringen Änderungen verwendbar; hier liegt ein weites Betätigungsfeld für den Amateur. Ein gewisser Teil muß aber konstruktiv stark verändert werden. Diese Typen zu liefern ist Aufgabe der Industrie. Übergangslösungen sind aber auch hier möglich.

Eine ganze Reihe von Bauelementen, besonders alle Arten von Spulen und Übertragern, benötigen Armaturen für die Leiterplatte. Auf diesem Gebiet wurde bereits sehr viel Arbeit geleistet, die aber in den meisten Fällen ausschließlich der Industrie zugute kam. Der Amateur kann vieles davon im Handel nicht erhalten. Dennoch kann er mit geringem Aufwand und gerade mit Halbzeug für gedruckte Schaltungen seinen Bedarf an diesen Dingen decken, wie in der zweiten Broschüre gezeigt wird.

### 2.23 Spezialbauelemente elektrischer Art

Speziell für den Einsatz in gedruckten Schaltungen wurden bereits zahlreiche Bauelemente umgestaltet. In der Reihenfolge Widerstand – Kondensator – Induktivität zeigen die Bilder 15 bis 21 einen Querschnitt durch das der Industrie bereits zugängliche Lieferprogramm der Bauelemente-Hersteller an Spezialbauelementen für die gedruckte Schaltung.

#### 2.231 Widerstände

Außer den von Fahnen- auf Drahtanschlüsse umgestellten Widerständen geringerer Belastbarkeit benötigt man oft größere Widerstände, die vor allem aus thermischen Gründen senkrecht angeordnet werden müssen. Die senkrechte Montage ist ein Anschlußproblem. Bild 15 zeigt eine Lösung, bei der der untere Anschluß aus zwei Lötfahnen besteht, während der obere als Draht durch den Hohlkörper geführt wird.

Potentiometer in klassischer Ausführung besitzen meist eine Gewindebefestigung am Achsenlager („Einloch-Montage"), kleinere Einstellregler sind mit radial angeordneten Lötösen versehen. Je nach Einsatzfall soll die Bedienung senkrecht oder parallel zur Leiterplatte erfolgen. Beide Bauformen sind bereits für gedruckte

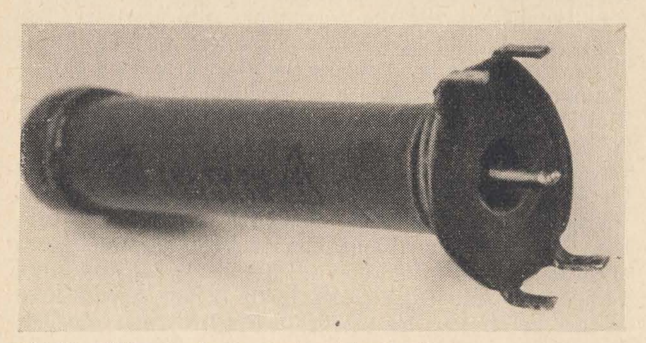
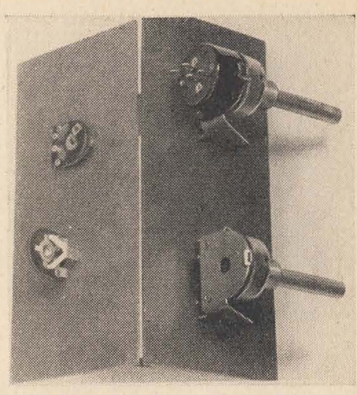


Bild 15. Widerstand für senkrechte Montage

Bild 16. Potentiometer und Einstellregler für gedruckte Schaltungen



Schaltungen erhältlich (Bild 16). Das Potentiometer nach Bild 16, mit Netzschalter kombiniert, wurde in den Kleinempfängern „Minorette“ und „Bobby“ eingesetzt.

2.232 Kondensatoren

Bauelemente mit einem großen Verhältnis von Länge zu Durchmesser, wie sie die meisten Kondensatoren darstellen, lassen sich zwar mechanisch sehr günstig liegend anordnen (sofern sie geeignete Drahtanschlüsse besitzen) doch stört in vielen Konstruktionen ihr Flächenbedarf. Das gilt besonders beim gleichzeitigen Einsatz senkrecht montierter Bauelemente größerer Höhe (Röhren, Filter). Zur besseren Volumenausnutzung möchte man solche Bauelemente stehend montieren. Das große Verhältnis von Länge zu Durchmesser macht aber besondere Maßnahmen zur mechanischen Stabilisierung erforderlich. Bild 17 zeigt, auf welche Weise der Hersteller (hier das Kondensatorenwerk Gera) diese Aufgabe für MP- und Elektrolyt-Kondensatoren gelöst hat. Der Kunststoff-Fuß umschließt den unteren Teil des Kondensators, nimmt dessen unteren Anschluß auf und führt den oberen, entsprechend verlängerten, am Körper vorbei zur Leiterplatte. Wird eine elektrische Verbindung des Gehäuses mit dem Leitungsmuster notwendig, so ist eine federnde Metallschelle zweckmäßig.

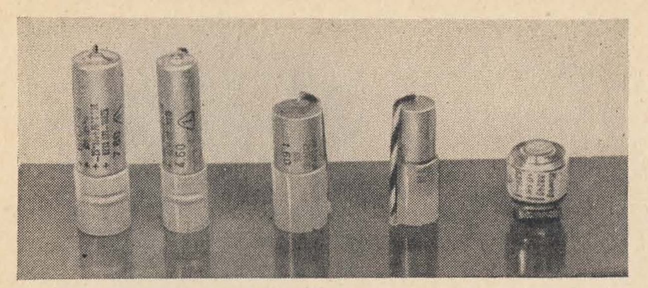


Bild 17. Senkrecht montierte Kondensatoren mit Spezialsockeln

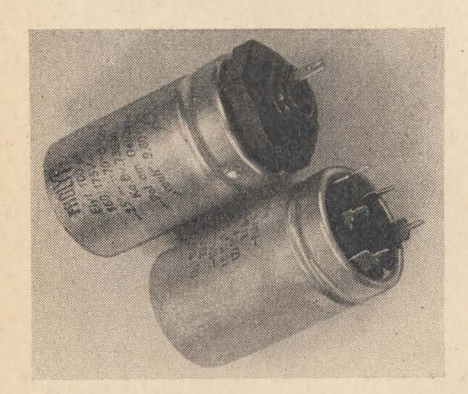


Bild 18
Vergleich eines Elektrolytkondensators für gedruckte Schaltungen mit einem volumengleichen in „herkömmlicher“ Technik

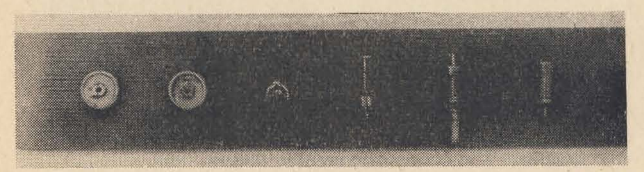


Bild 19. Rohr- und Scheibentrimmer für gedruckte Schaltungen

Kleine Styroflexkondensatoren z. B. für Filteraufbauten sind mit Polyamidkern auf Stiftsockel erhältlich (siehe ebenfalls Bild 17).

Größere Elektrolyt-Kondensatoren erhalten statt der für klassische Technik gebräuchlichen Gewindebefestigung drei Haltelappen, die gleichzeitig den negativen Pol an das Muster anschließen. Der oder die positiven Anschlüsse (in Bild 18 handelt es sich um einen 2 × 16-μF-Typ) sind entsprechend TGL 0-40 801 gegenüber den negativen verkürzt. Die Anordnung der Anschlüsse garantiert unverwechselbare Montage (siehe Bild 12). Unter den veränderbaren Kondensatoren nehmen die Trimmer eine wichtige Stellung ein. Bild 19 bringt verschiedene Beispiele von keramischen Rohr- und Scheibentrimmern für gedruckte Schaltungen.

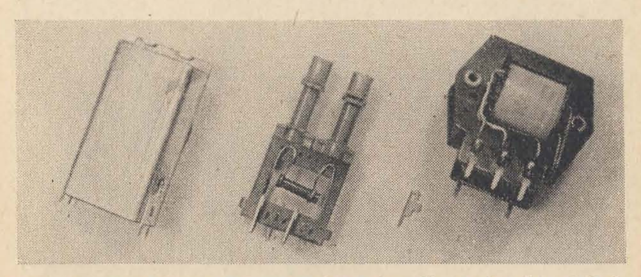


Bild 20. Bandfilter und Transformator für gedruckte Schaltungen

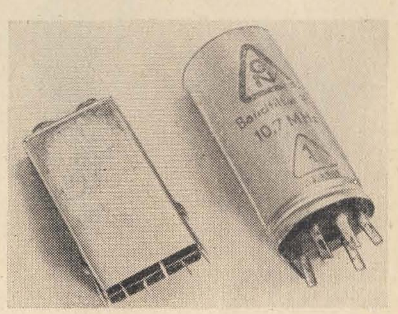


Bild 21
Vergleich der Anschlüsse eines Bandfilters in herkömmlicher Technik mit einem solchen für gedruckte Schaltungen

2.233 Induktivitäten

HF- und NF-Spulen sowie -Übertrager mit ihrer Vielzahl von Anschlüssen werden erst dann für die gedruckte Schaltung wirtschaftlich einsetzbar, wenn ihre Armaturen so ausgebildet sind, daß statt der bisher üblichen Lötösen für das Normloch geeignete Anschlüsse alle Verbindungen zur Schaltung herstellen und selbstverständlich, das Bauelement nach unten hin überragend, in einer Ebene liegen. Die Bilder 20 und 21 enthalten Beispiele möglicher Konstruktionen.

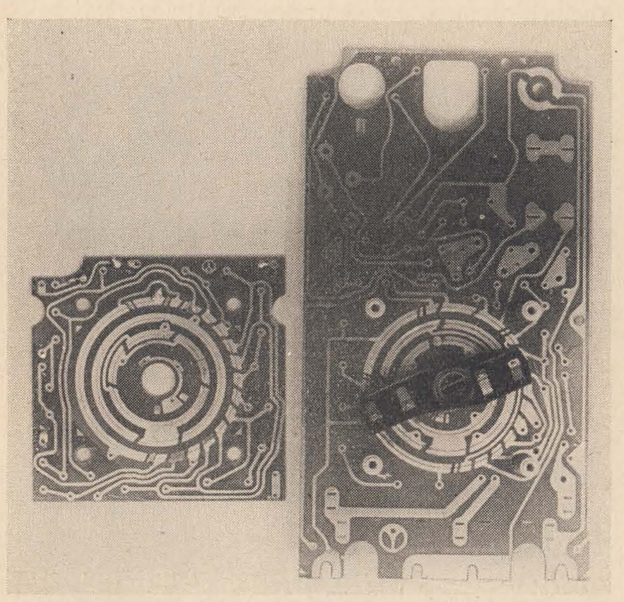


Bild 22. Gedruckter Vielfachschalter eines Universalmeßgerätes (VEB Gerätewerk Karl-Marx-Stadt)

## 2.24 Kontaktbauelemente für die gedruckte Schaltung

Sehr wichtig für jedes elektronische Gerät sind geeignete Kontaktbauelemente. Bei ihnen eröffnet die Leiterplatte viele neue Möglichkeiten. Schalterkontakte lassen sich beispielsweise ohne Schwierigkeit in beliebigen Programmen mit dem Leitungsmuster zusammen herstellen, und zwar als Dreh- oder auch als Schiebeschalter. Damit entfallen Herstellung und Aufnieten vieler kleiner Kontaktplättchen, und die Verdrahtung

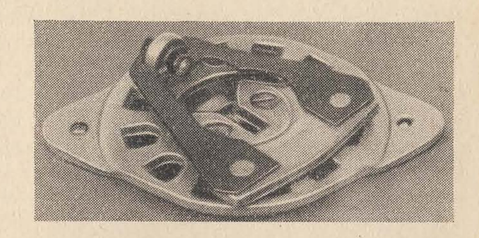


Bild 23
Rastkopf eines für gedruckte Schaltungen geeigneten Schalters

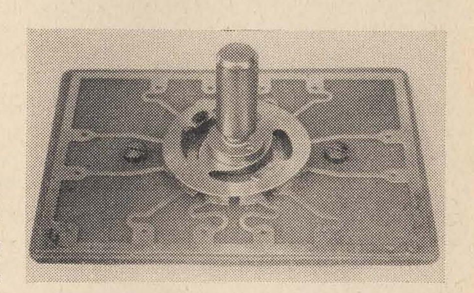


Bild 24
Schleifer, Feder und Bedienungsachse des Schalters nach Bild 23, in ein Leitungsmuster eingesetzt

übernimmt ebenfalls schon das Leitungsmuster. Lediglich die bewegten Teile (Rotor oder Schieber, Schleifbrücken) müssen aufgesetzt werden. Bei einigen handelsüblichen Flachschaltern ist eine unmittelbare Übernahme dieser Teile für die Leiterplatte möglich. Das neue Universal-Meßinstrument vom Meßgeräte-Werk Karl-Marx-Stadt enthält bereits einen „gedruckten“

Schalter, dessen Bahnen zur zuverlässigen Kontaktgabe bei kleinem Übergangswiderstand im Zuge der Herstellung des Leitungsmusters versilbert wurden (Bild 22). Für die Verwendung bei gedruckten und auch bei „herkömmlichen“ Schaltern wurden ein Rastkopf und eine Schleiferanordnung entwickelt, wie sie die Bilder 23 und 24 zeigen. Das beweist, wie flach sich die Teile des Schalters halten lassen, die auf der Leiterseite angeordnet werden müssen, denn selbstverständlich sprengt ein gedruckter Schalter den zweidimensionalen Charakter dieser Seite der Schaltung. Schließlich ist ohne einen über die Kontakte gleitenden Schleifer kein Schalten möglich.

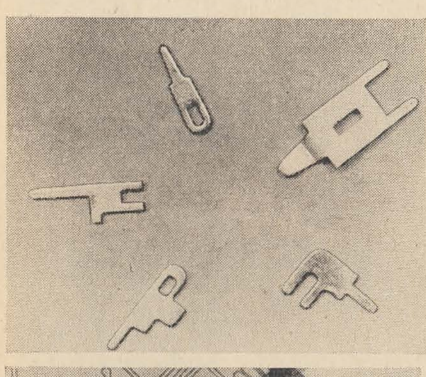


Bild 25
Auswahl aus der Vielfalt von Lötösen für gedruckte Schaltungen

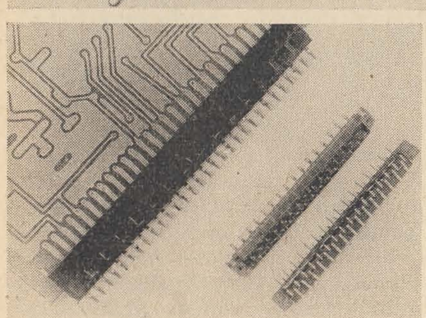


Bild 26
„Direkte“ Steckverbindung (Stecker im Leitungsmuster, Federleiste VEB Elektrogerätewerk Gornsdorf) und „indirekte“ Steckverbindung für gedruckte Schaltungen

Groß ist die Zahl von Lötösen, die zur Schonung der Folienleiter Verbindungen nach außen abfangen. Einige Möglichkeiten von Lötösen für gedruckte Schaltungen gibt Bild 25 wieder. Die Gestaltung erfolgt hinsichtlich günstigen Wärmeverhaltens (bei Lötungen darf der Kontakt zum Leitungsmuster nicht unterbrochen werden!), nach günstiger Montagemöglichkeit und selbstverständlich dem Normloch angepaßt.

Solche Verbindungen nach außen können aber auch steckbar ausgeführt werden. Einen verblüffend einfachen Weg stellt das „direkte" Stecken dar. Dabei sind die Steckkontakte im Leitungsmuster an einer Plattenkante enthalten (zweckmäßig wieder mit Oberflächenveredelung). Als Gegenkontakte wurden mehrpolige Federleisten entwickelt (Bild 26). Sie sind für die Kleinbautechnik aber räumlich ungünstig, zumal die Federn auf der Folienseite liegen müssen und dort in der dritten Dimension Platz verbrauchen. Außerdem läßt sich aus konstruktiven Gründen ein kleinerer Abstand als 5 mm von Kontakt zu Kontakt nur schwer verwirklichen. Günstiger sind in dieser und mancher anderen Hinsicht „indirekte" Steckverbindungen, bei denen die Leiterplatte auf der Bauelementeseite eine Steckerleiste enthält, die meist in zwei Reihen angeordnet Kontakte in 2,5-mm-Folge zuläßt (Bild 26). Beide Arten kommen in Frage, wenn es gilt, komplette Baugruppen getrennt zu fertigen, zu prüfen und bei Reparaturen schnell auszuwechseln.

Die Ausführungen des Punktes 2.2 waren für den Amateur, der nicht jedes der beschriebenen Bauelemente erhalten wird, insofern von Wichtigkeit, als sich aus ihnen viele Anregungen für eigene Arbeiten gewinnen lassen.

### 2.3 Der Entwurf des Leitungsmusters

Es gilt nun, die für eine bestimmte Schaltung in Frage kommenden, geeigneten Bauelemente in elektrisch und mechanisch zweckmäßige Lage zueinander zu bringen und mit einem günstigen Leitungsmuster zu verbinden.

Hierfür läßt sich kein universelles „Kochrezept" geben. Persönliche Faktoren (u. a. die Gewöhnung an diese Konstruktionsart) spielen eine ebenso große Rolle bei dem zum Entwurf nötigen Arbeitsaufwand wie der Umfang der gegebenen Schaltung.

### 2.31 Die Rasterplatte

Eine wirksame Hilfe besonders für den Anfänger ist es, die räumliche Anordnung der einzelnen Bauelemente an diesen selbst zu erproben, noch bevor die erste Probeleiterplatte vorliegt. Gegenüber der Anfertigung entsprechender Mengen von Papierschablonen z. B. in vergrößertem Maßstab, die den Konturen der zu verwendenden Bauelemente entsprechen, ist es günstiger, die Bauelemente selbst, d. h. im Maßstab 1 : 1, zu benutzen. Ihre Fixierung in Punkten des Normrasters erleichtert die Rasterplatte. Eine Platte aus Hartpapier, Halbzeug oder noch besser aus durchsichtigem Material möglichst von der Dicke des Halbzeuges (1,5 mm) wird mit dem 2,5-mm-Rasternetz versehen. In jeden Kreuzungspunkt bohrt man dann ein Loch. Für den an die Norm gebundenen Konstrukteur hat es 1,3 mm Durchmesser. Der Amateur, der kein Lochwerkzeug besitzt und daher seine Löcher immer bohren wird, darf 1 mm Durchmesser bohren. Dadurch werden engere Aufbauten möglich, denn kleinere Bohrungen beanspruchen weniger Lötfläche und gestatten damit mehr Leitungs-

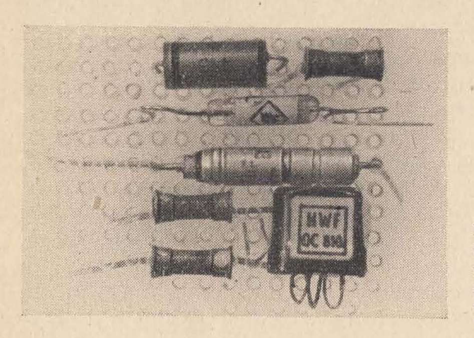



Bild 27. Probeaufbau eines einfachen Gerätes auf einer Rasterplatte

züge je Flächeneinheit. Für handelsübliche Bauelemente mit 1,3-mm-Anschlüssen (Potentiometer, Elkos und Gleichrichter), läßt sich dann immer noch das Loch aufbohren.

Der einmalige Aufwand für die Herstellung dieser Rasterplatte lohnt sich. Als weitere Erleichterung können die Lochkoordinaten am Rande beziffert oder mit Buchstaben gekennzeichnet werden.

### 2.32 Bauelementeplan und Leitungsmuster

Als erster Schritt zum Leitungsmuster werden alle Bauelemente beschafft, denn ein späterer Übergang auf räumlich anders gestaltete Bauelemente ist in einer gedruckten Schaltung nur schwer durchführbar. Ist ein Wert nicht sofort greifbar, so kann zunächst ein anderer mit gleichen Dimensionen und Anschlüssen als Phantom benutzt werden.

Man skizziert nun grob und ohne Maßstab auf einem Blatt Papier die günstigste Anordnung bezüglich kurzen Signalweges und Kopplungsfreiheit. Bei Röhren und höher belasteten Widerständen ist außerdem die Temperaturabgabe zu beachten — alles wie bei der „herkömmlichen" Technik. Für gute Zugänglichkeit bei Reparaturen bemüht man sich, alle Bauelemente nebeneinander anzuordnen und eine Berührungsgefahr auszuschalten. Es hat sich aber gezeigt, daß in vielen Fällen eine „Stapelung" geeigneter Bauelemente durchaus zulässig ist, ohne den Service wesentlich zu erschweren. Besonders dem um Kleinbautechnik bemühten Amateur, der außerdem besonders sparsam mit dem Halbzeug umgehen möchte, sei daher empfohlen, hiervon Gebrauch zu machen. Allerdings dürfen dabei keine wärmeabgebenden Bauelemente „zugedeckt" werden. Es bietet aber einen schlechten Raumausnutzungsgrad, wenn Elkos großer Längenausdehnung gelegt werden, während die Bauhöhe der Einheit durch wesentlich weiter nach oben ragende Bauelemente bestimmt wird. Nicht immer aber ist andererseits nach oben hin soviel

Raum vorhanden, diese Elkos zu stellen. Beim Stapeln sind natürlich Maßnahmen gegen Kurzschlüsse erforderlich. Elkos sollte man mit einer klebenden Folie umwickeln. Überhaupt ist, abhängig vom verfügbaren Raum, von der Form der gegebenen Bauelemente her von vornherein eine Entscheidung darüber zu treffen, ob besser hoch oder flach gebaut wird.

Hat man auf diese Weise den verfügbaren Raum ökonomisch, elektrisch und reparaturtechnisch vertretbar ausgefüllt, so werden nach der Skizze die Bauelemente in die Lochrasterplatte gesteckt und durch Umbiegen provisorisch gesichert. Bild 27 vermittelt einen Eindruck von solchem Probeaufbau (das Bild zeigt einen Dioden-Empfänger mit einstufigem NF-Verstärker). Auf einem Blatt Millimeterpapier (mindestens in Größe der Schaltung, deren Seitenverhältnisse den Erfordernissen des späteren Einbaues angepaßt sein müssen) wird nun die Lage der Bauelemente skizziert, dieses Mal aber maßstabgerecht. Außerdem zeichnet man alle Anschlüsse ein. Dabei bietet das Millimeterpapier, da es das Rasternetz enthält, eine gute Hilfe. Noch günstiger ist es, als Träger dieses „Bauelemente-Planes" Transparentpapier zu benutzen und ein entsprechendes Rasterblatt unterzulegen. Dieses Rasterblatt – ebenfalls eine einmalige Arbeit – besteht aus in 2,5 mm Abstand dem Raster entsprechend angeordneten Punkten. Klebestreifen, Büroklammern oder Reißzwecken stellen sicher, daß sich die Blätter nicht gegeneinander verschieben können.

Auf den Bauelementeplan legt man ein Blatt Transparentpapier, trägt die Anschlußpunkte ein und versucht, sie gemäß Schaltbild kreuzungsfrei zu verbinden. Das gelingt nach etwas Übung in den meisten Fällen. Leitungskreuzungen lassen sich z. B. dadurch vermeiden, daß man die eine Leitung unter einem in die andere Leitung eingefügten Bauelement hindurchlegt. Bild 28 deutet einen solchen Fall an. Um die Freiheit in der Verlegung der Leiterzüge möglichst wenig zu beschränken, ist es daher auch bei Bauelementen von in der

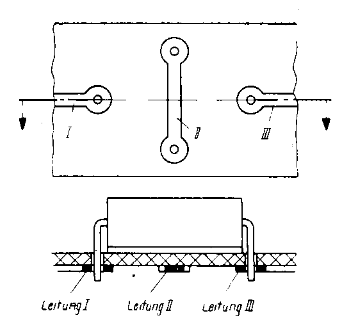


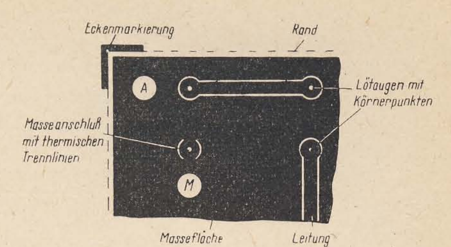

Bild 28. Bauelement als „Brücke“ löst das Problem der Leitungskreuzung

Plattenebene kleiner räumlicher Ausdehnung (z. B. Scheibenkondensatoren) sinnvoll, keine aufeinanderfolgenden Rasterpunkte zu belegen, damit sich zwischen den Anschlüssen noch mindestens eine Leitung hindurchlegen läßt. Nur sehr komplizierte Schaltungen benötigen u. U. wenige Drahtbrücken, die dann wie Bauelemente behandelt werden. Auf jeden Fall vermeide man es, in einen Anschlußpunkt mehr als einen Bauelementeanschluß zu legen. Anderenfalls wird Auswechseln später sehr erschwert. Gelingt der Versuch, ein zufriedenstellendes Leitungsmuster zu entwerfen, nicht sofort, so wiederholt man ihn mit einem neuen Transparentblatt.

Fand als Bauelementeplan bereits ein Transparentblatt Verwendung, so kann dieses auch einfach herumgedreht und als „Verdrahtungsblatt“ benutzt werden. Das hat den Vorteil, daß sofort die richtige Seitenansicht des Leitungsmusters entsteht, denn die Bauelemente befinden sich in Wirklichkeit ja auch auf der dem Leitungsmuster abgewandten Seite.

Schließlich liegt das Muster als Gewirr von Linien vor. Aus Gründen der Sicherheit gegen Unterbrechungen bei der Herstellung werden die einzelnen Leiter nun verbreitert, soweit das zulässig ist. Besonders die Masseleitung sollte man zu einer Fläche mit abschirmender Chassiswirkung ausweiten. „Heiße“ Leitungen

Bild 29. Ausschnitt aus einem Leitungsmuster mit als Schirm wirkender Massefläche




müssen kurz und schmal gehalten werden und sind möglichst in Masse einzubetten. Unkritische Leitungen dagegen können auf „verschlungenen" Wegen geführt werden.

Kein Leiter sollte schmaler als 1 mm sein. Man kann ihn dann noch mit 2 A belasten, wenn etwa 30 °C Übertemperatur zugelassen werden. Ein 1 mm breiter Leiter besitzt etwa 5 m$\Omega$/cm. Auch die isolierenden Zwischenräume sollten zur Sicherheit gegen Brückenbildung bei der Herstellung nicht schmaler als 1 mm gewählt werden, sofern nicht höhere Spannungen noch größere Abstände erfordern. Bei Schaltungsteilen, die im Betrieb von außen berührt werden können, sind die Sicherheitsabstände gegenüber spannungsführenden Leitern nach VDE einzuhalten.

Das fotomechanische Verfahren läßt zwar, stehen keine elektrischen Gründe dagegen, kleinere Leiterbreiten und -abstände als 1 mm zu, doch wächst naturgemäß mit sinkender Leiterbreite die Gefahr von Unterbrechungen. Diese können teils durch Fehlstellen im Negativ oder im Kopierlack, teils durch kleinere Löcher oder Risse, die die Folie möglicherweise enthält, teils auch bei späterer mechanischer Beanspruchung entstehen. Rechtzeitig erkannte Unterbrechungen lassen sich aber beheben, wie in den Abschnitten 3.5 und 3.8 beschrieben wird.

An den Anschlußstellen werden die Leiter am besten kreisförmig erweitert, auf 3 mm Durchmesser beim 1,3-, auf mindestens 2,5 mm beim 1-mm-Loch. Anschlüsse

innerhalb größerer Flächen löten sich leichter, wenn sie durch Linien („thermische Trennlinien“) teilweise von diesen Flächen getrennt werden.
Im Muster lassen sich auch wichtige Bezeichnungen und anderes eintragen. Die Umrandung wird durch Balken in den Ecken oder eine unterbrochene Linie, die nichts kurzschließen darf, d. h., die nicht gleichzeitig zwei verschiedene Leiter berühren darf, dargestellt. Für den Amateur gilt die Regel, daß Leitungen nicht bis zum Rand gehen sollen, nur bedingt und höchstens dann, wenn Gefahr besteht, daß sich beim Sägen Leiter lösen können (material-abhängig), oder falls beim Einbau Berührungsgefahr spannungsführender Teile besteht. Nicht vergessen werden dürfen im Muster Lötpunkte für Anschlüsse nach außen. Die Mitte des Lötauges wird stets auf etwa 0,3 bis 0,5 mm Durchmesser frei gelassen, so daß dort später der Bohrer ohne zusätzliches Ankörnen leicht angesetzt werden kann („Körnerpunkte“). Bild 29 zeigt einen nach diesen Gesichtspunkten entstandenen Leitungsmusterausschnitt.
Man kommt zwar beim Entwurf auch ohne Rasterplatte aus, wenn Schablonen der gängigsten Bauelemente aus Papier angefertigt werden, die man auf dem Entwurfsblatt anordnet und beliebig verschiebt, doch hat die Rasterplatte den Vorzug, daß sich die Bauelemente selbst als Schablonen verwenden lassen.
In der Industrie geht man aus Genauigkeitsgründen oft von Entwürfen im Maßstab 2 : 1 oder 4 : 1 aus, so daß sich als „Rasterpapier“ 5-mm-Karos (2 : 1) oder die 10-mm-Karos des Millimeterpapiers (4 : 1) verwenden lassen.
Von dem auf diese Weise entstandenen Entwurf des Leitungsmusters kann man auf verschiedenen Wegen zum kopierfähigen Negativ gelangen.

## 2.4 Vom Entwurf zum Negativ

### 2.41 Vergrößerte Zeichnungsvorlage

In der Industrie wird das Leitungsmuster, dem Maßstab des Entwurfes entsprechend, meist 2 : 1 oder 4 : 1 auf verzugsfreien Zeichenkarton mit Spezialeinlage (z. B.

Aluminium), der oft einen hellblauen Rastervordruck im entsprechenden Maßstab enthält, in Tusche gezeichnet und dann so fotografiert, daß das erhaltene Negativ genau die Größe der gewünschten Schaltung hat. Zu diesem Zweck zeichnet man im Original (auch „Fotovorlage“ genannt) Kontrollmaße ein. Bei dieser fotografischen „Verkleinerung“ auf den Maßstab 1 : 1 wird der vielleicht vorhandene Rastervordruck des Originals durch ein Vorsatzfilter beseitigt. Man erhält somit das im nächsten Arbeitsgang weiterverwendete Negativ des Leitungsmusters in der richtigen Größe.

Dem Amateur genügt zwar meist der Entwurfsmaßstab 1 : 1 ohne nachträgliche Vergrößerung, doch soll das Arbeiten mit der Kamera nicht unerwähnt bleiben. Als Regel gilt für die vergrößerte Zeichnungsvorlage, da es sich um ein Positiv handelt: *Alle Tusche in der Vorlage bleibt später als Kupfer auf der Leiterplatte.*

Die Tusche sollte matt sein, damit das Negativ bei der Aufnahme durch Reflexionen nicht verschleiert wird. Damit leicht auf den Maßstab 1 : 1 eingestellt werden kann, verwendet man eine Plattenkamera mit Mattscheibe. Das Fotomaterial muß möglichst hart sein (z. B. Printon E oder Dokumentenfilm) und hart entwickelt werden (Repro-Entwickler). Nötigenfalls ist durch zweimaliges Umkopieren aus dem nicht genügend kontrastreichen Negativ ein an den durchsichtigen Stellen glasklares, an den undurchsichtigen dichtschwarzes zu gewinnen. Da dieser Vorgang über ein Diapositiv führt, ermöglicht er gleichzeitig für Mehrfachkopien die Anfertigung einer beliebigen Anzahl von Negativen guter Qualität. Nur bei sehr großen Genauigkeitsansprüchen über längere Zeit muß das Negativ aus Plattenmaterial bestehen. Für Amateurzwecke reicht der bequemer zu handhabende Film völlig aus, dessen Schrumpfung man in Kauf nehmen kann.

Auch über die Aufnahme mit einer Kleinbildkamera mit anschließender Vergrößerung auf 1 : 1-Format und Umkopieren kann man zum Leitungsmuster in Original-

größe der Schaltung gelangen. Die Wahl eines bestimmten Verfahrens richtet sich also ganz nach den zur Verfügung stehenden Mitteln.

### 2.42 Trennlinienverfahren ohne Kamera

Der ganze Fotoaufwand läßt sich sparen, verwendet man in allen Stufen den Maßstab 1 : 1 und gutes Transparentpapier oder für das Negativ noch besser durchsichtige Kartografen- oder Künstlerzeichenfolie (in Berlin über HO Künstlerbedarf zu beziehen). Dabei geht man am besten so vor: Ein Blatt Millimeter-Papier wird mit Rasterpunkten analog denen auf der Rasterplatte versehen. Auch die Bezifferung wird übernommen (siehe 2.32). Die Skizze des Bauelementeaufbaus auf der Rasterplatte, der Bauelementeplan, wird mit allen Anschlüssen auf ein Stück Transparentpapier gezeichnet, das man auf dieses Rasterblatt legt. Dieses dreht man danach einfach um und „verdrahtet" mit einem Bleistift (am besten „H" oder „F"). Dabei kann beliebig radiert werden, ohne daß die umseitige Bauelementeanordnung verschoben oder gelöscht wird.

Bis zu dieser Stufe entsprechen also die Schritte denen in 2.32. Auf die Verdrahtungsskizze legt man ein zweites Blatt Transparentpapier oder jetzt die Folie, denn die Zeichnung wird nun nicht auf Karton übertragen. Man zieht vielmehr als „Negativpause" die Zwischenräume der auf dem Verdrahtungsblatt sichtbaren, bereits entsprechend verbreiterten Leiter mit Tusche aus. Hier gilt:

*Alle Tusche im Negativ wird auf der Leiterplatte freiliegendes Kupfer und damit weggeätzt, wird also Trennlinie.*

Der Körnerpunkt ist daher hier einfach ein Tuschepunkt. Diese Negative lassen sich am leichtesten mit geraden Linien zeichnen. Die Muster sehen dadurch etwas anders aus als Bild 29, was aber die Funktion der Schaltung in den seltensten Fällen beeinflußt. Die Trennlinien sollten mindestens 0,5 mm breit sein, wenn nicht elektrische Gründe noch mehr erfordern. Dann

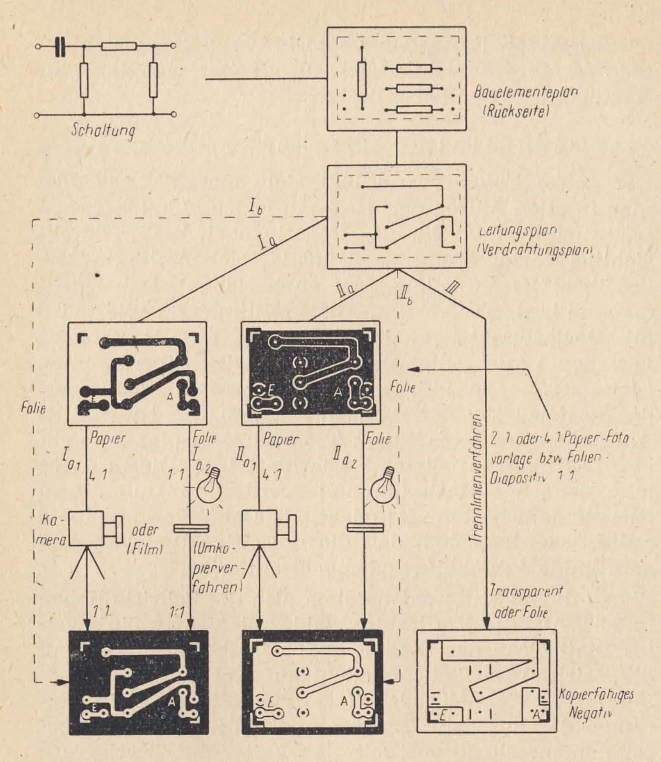



Bild 30. Von der Schaltung zum kopierfähigen Negativ — Möglichkeiten

I) „klassische" Form des Leitungsmusters

$Ia_1$) Papierpositiv im vergrößerten Maßstab mit Fotografie zum Negativ 1 : 1 (vgl. 2.41)

$Ia_2$) Folien- oder Transparent-Diapositiv 1 : 1 mit Umkopieren ohne Kamera (vgl. 2.43)

Ib) Vom Leitungsplan direkt zum gezeichneten Negativ mittels Folie

II) Leitungsmuster mit schirmender Massefläche (ursprüngliches Trennlinienverfahren)

IIa) vgl. Ia

$IIa_1$) vgl. $Ia_1$

$IIa_2$) vgl. $Ia_2$

III) Trennlinienverfahren mit geringstem Aufwand (vgl. 2.42)

müssen z. B. mehrere Linien ohne Zwischenraum nebeneinandergezogen werden, denn eine breitere Einstellung der Ziehfeder erschwert das Zeichnen.

Ohne Verwendung von Kamera und Fotomaterial liegt damit bereits ein kopierfähiges Negativ in Schaltungsgröße vor, über dessen Anwendung beim fotomechanischen Verfahren das nächste Kapitel Auskunft gibt.

### 2.43 Umkopierverfahren ohne Kamera

Auf verzugsfreiem Spezial-Zeichenkarton spielt es keine Rolle, welches Verhältnis von Tusche zu Karton, d. h. welches Verhältnis von Kupfer zu Hartpapier, das Leitungsmuster enthält. Es lassen sich infolge der vergrößerten Darstellung auch komplizierteste Muster exakt herstellen. Das Trennlinienverfahren im Maßstab 1 : 1, bei dem die Tuschezeichnung direkt als Negativ benutzt wird, ist besonders zeitsparend und genügend genau vor allem bei der Herstellung von Mustern mit großem Verhältnis von Kupfer zu Hartpapier. Große Kupferflächen können aber manchmal störend wirken (Kapa-

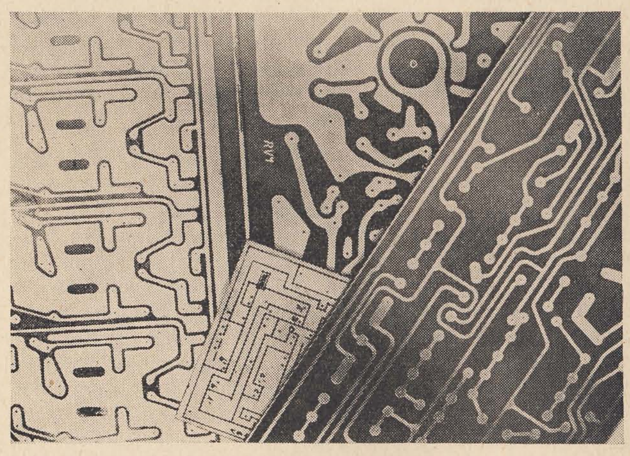


Bild 31. Verschiedene Leitungsmusterformen

zitäten, Tauchlötverhalten). Wenn auch der Amateur fast immer mit diesem Verfahren auskommen wird (dem Verfasser gelang es z. B. ohne Schwierigkeit, einen 10,7-MHz-Verstärker im 1 : 1-Trennlinienverfahren herzustellen), so soll doch auch dessen etwas aufwendigeres Gegenstück im Muster, nämlich das Umkopierverfahren ohne Kamera, erwähnt werden.

Die „klassische" Form des Leitungsmusters bestand in der Nachbildung der Verdrahtung, d. h. in der Verbindung der entsprechenden Schaltungspunkte durch schmale Leiter, die in Lötaugen enden. Alle andere Fläche wurde weggeätzt. Wollte man von einem solchen Muster, wenn es aus irgendwelchen Gründen tatsächlich nicht zu umgehen ist, ein 1 : 1-Negativ zeichnen, so wären Tusche- und Zeichenaufwand sehr groß, da nur diese schmalen Leiter von Tusche frei bleiben müßten. Es ist daher in diesem Falle günstiger, ein 1 : 1-Diapositiv zu zeichnen (wiederum auf durchsichtiger Folie, notfalls auf Transparent). Davon gewinnt man dann durch eine Kontaktkopie auf hartem Film das gewünschte 1 : 1-Negativ. Bei Verwendung von Folie statt Transparentpapier sind aber größere Tuscheflächen durchaus zulässig, ohne daß sich das Material verzieht, so daß dort ohne Umkopieren sofort ein Negativ auch mit größerem Verhältnis von Kupfer zu Hartpapier gewonnen werden kann.

Als Zusammenfassung und zum besseren Verständnis der Einzelheiten und der verschiedenen Möglichkeiten zur Gewinnung eines kopierfähigen Negativs enthält Bild 30 die einzelnen Stufen der Entstehung des Leitungsmusters. Verschiedene Leitungsmusterformen sind in Bild 31 zusammengestellt. Mit einer vergrößerten Zeichnungsvorlage auf verzugsfreiem Karton ist prinzipiell jede Art möglich, wenn auch schmale Leiter mit viel Hartpapier entsprechend viel Tusche erfordern. Die beiden Verfahren ohne Kamera dagegen sollten stets dem Leitungsmustertyp entsprechend eingesetzt werden. Große Kupferflächen, besonders Masseflächen mit Chassiswirkung, sollte der Amateur bevorzugen, denn

sie sparen ihm nicht nur viel Zeichnungsaufwand beim Trennlinienverfahren, sondern vor allem auch Ätzbad und Ätzzeit.

# 3. DIE HERSTELLUNG DER LEITERPLATTE

Für alle folgenden Arbeiten ist Ausgangsmaterial die kupferkaschierte Schichtpreßstofftafel, wie die offizielle Bezeichnung des Halbzeuges für gedruckte Schaltungen in Folienätztechnik lautet. Von einer Selbstherstellung solchen Materials oder von irgendwelchen galvanischen oder gar Aufstreich- und Einbrennverfahren zur Erzeugung von Leitungszügen auf Isolierstoffträgern sei hier nochmals dringend abgeraten. Das kupferkaschierte Material ist im Handel erhältlich, und man sollte sich seiner bedienen.

## 3.1 Einfachste Möglichkeiten ohne Ätzen

Die Arbeitsgänge des Folienätzverfahrens, nämlich Aufbringen einer ätzfesten Deckschicht in Form des Leitungsmusters, Ätzen und Entfernen der Deckschicht, sind nur in einem einzigen Fall zu umgehen (wiederum kupferkaschiertes Halbzeug als Ausgangsstoff vorausgesetzt). Dieser Fall liegt dann vor, wenn ein einfaches

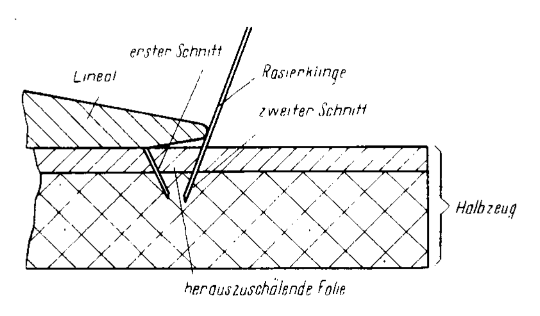



Bild 32. Einfachstes Verfahren zur Erzeugung von Leitungsmustern

Muster ganz schnell und ohne Ansprüche an Konturenschärfe, Flächenausnutzung und Schönheit hergestellt werden soll. In dieser Technik sind außerdem nur Trennlinienmuster möglich.

Auf dem Halbzeug wird zunächst das Muster vorgezeichnet, entweder mit Bleistift oder durch Pausen auf die dazu möglichst noch leicht angerauhte Kupferoberfläche. Anrauhen kann man recht einfach auch chemisch durchführen, mit verdünnter Salzsäure oder mit dem in 3.2 beschriebenen Ätzmittel. Die gut gespülte und getrocknete Oberfläche nimmt recht gut die Farbe des Durchschlagpapiers längs der durchgezeichneten Linien an. Mechanisch läßt sich mit feinem Schmirgelleinen anrauhen, das vorsichtig kreisförmig über die Platte geführt wird (Vorsicht wegen der geringen Foliendicke!). Außer den Linien werden auch die vorgesehenen Bohrungen als Punkte mit durchgepaust. Zunächst körnt man nun diese Punkte an.

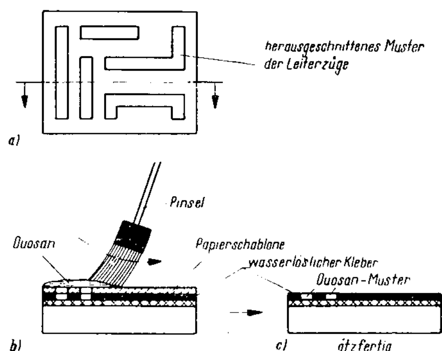
Mit Hilfe eines Stahllineals führt man danach ein scharfes Messer oder eine möglichst starke Rasierklinge, etwas gegen die Folie geneigt, über die vorgezeichneten Linien. Jede Linie muß zweimal in zwei nicht mehr als 1 mm voneinander entfernten, parallel laufenden Geraden geschnitten werden. Der Querschnitt der Einschnittstelle sollte V-förmig sein (Bild 32). Dadurch läßt sich die Folie zwischen den Schnittlinien relativ leicht abschälen, wiederum am besten längs des Lineals. Das Lineal sollte man möglichst mit der Platte zusammenklemmen, damit es sich nicht verschieben kann, denn diese Arbeiten erfordern etwas Kraftaufwand.

Besonders bei schmalen Leitern ist große Sorgfalt notwendig, und für kompliziertere Schaltungen mit nicht immer gerader Linienführung ist das Verfahren unbedingt abzulehnen.

### 3.2 Einfachste Erzeugung ätzfester Muster

Die in 3.1 beschriebene Möglichkeit wird im Ergebnis nur selten befriedigen. Daher folgen jetzt zwei zwar

Bild 33 Lackauftragverfahren mit Schablone
a) Papierschablone
b) Duosanauftrag
c) getrocknetes, ätzfestes Muster




ebenfalls sehr einfache Verfahren, bei denen aber die Abtragung der für das Muster unerwünschten Folienpartien bereits durch Ätzen (siehe 3.6) geschieht.

### 3.21 Lackauftrag

Diese Methode sollte möglichst ebenfalls nur für Brettschaltungen oder einfache Muster, dieses Mal aber mit einem großen Verhältnis von zu ätzender zur abgedeckten Fläche, angewendet werden. Zu empfehlen ist auch hier ein Vorzeichnen oder Durchpausen des Musters in der unter 3.1 beschriebenen Weise. Danach werden die späteren Leitungszüge als Lackhaut mit einem geeigneten Pinsel aufgetragen. Bei entsprechendem Lack und angerauhter Oberfläche ist auch eine Ziehfeder verwendbar. Die Oberfläche muß unbedingt fettfrei sein, damit der Lack haftet. Die Deckschicht darf nicht wasserlöslich oder porös sein und muß dem Ätzbad widerstehen. Duosan, mit Azeton so weit verdünnt, daß es leicht aufgetragen werden kann, aber nicht so weit, daß sich Poren bilden, ist hierfür geeignet.

Ungewollte Brückenbildung läßt sich leichter feststellen, wenn im Azeton vor dem Mischen etwas Kopierstiftmine aufgelöst wird. Das getrocknete Muster kann geätzt werden. Körnerpunkte für spätere Boh-

rungen lassen sich am besten aufbringen, wenn die Schicht noch nicht ganz trocken ist, so daß ein spitzer Gegenstand an den gewünschten Stellen den Lack entfernen kann. Den Rest besorgt das Ätzbad.

Diese immer noch recht primitive Technik läßt sich — wiederum unter der Voraussetzung eines großen Verhältnisses der zu ätzenden zur abgedeckten Oberfläche — vervollkommnen. Das geschieht mit einer Papierschablone. Da alle späteren Einzelleiter voneinander isoliert sein müssen, entsteht ein mit Rasierklinge oder Schere herstellbares Gerüst (Bild 33), dessen Form den zu ätzenden, zusammenhängenden Flächen entspricht. Dieses ist selbstverständlich um so stabiler, je breiter die Isolierflächen werden sollen. Man bestreicht die Schablone möglichst dünn mit einem wasserlöslichen Kleber und legt sie sofort mit der klebenden Seite auf die Folie. Auf die späteren Leiterflächen darf möglichst gar kein Kleber übertreten. Danach wird über die ganze Fläche mit breitem weichem Pinsel Duosan oder eine andere geeignete Schicht dünn aufgetragen. Anschließend zieht man die noch feuchte Schablone ab. Die Deckhaut darf dabei noch nicht so weit getrocknet sein, daß sie reißt.

Das Leitungsmuster liegt nun in Form abgedeckter Flächen vor. Nach Trocknung kann geätzt werden. Die Rückstände des wasserlöslichen Klebers stören dabei nicht, da das Ätzbad Wasser enthält und den Kleber abwäscht.

### 3.22 Wachsabtrag

Trennungslinienmuster, wie sie mittels eines scharfen Gegenstandes in Abschnitt 3.1 gewonnen wurden, können weit sauberer und bequemer auf folgende Weise hergestellt werden. Die Halbzeugplatte wird folienseitig mit einem Wachs-, Paraffin- oder Stearinüberzug versehen. Sie ist dazu auf etwa 60 °C zu erwärmen. Dann führt man z. B. eine Kerze auf der Folienoberfläche entlang. Dabei soll sich ein nur dünner, gleichmäßiger Überzug bilden, den man erkalten läßt.

3.221 Abtrag durch Pausen

Das auf festem, holzfreiem, aber dünnem Papier in Form seiner Trennlinien vorgezeichnete Leitungsmuster wird nun auf der Platte befestigt. Mit einem Bleistift „H“ oder „HB“ zieht man seine Linien unter leichtem Druck nach, am besten längs eines Lineals. Auch die Körnerpunkte werden durchgedrückt. Unter den Linien und Punkten setzt sich die Deckschicht am Papier fest und wird zusammen mit diesem von der Platte abgezogen. Sollte sich das verwendete Blatt als weniger geeignet erweisen oder wurde nicht sorgfältig genug nachgezogen, so zeigt sich dies nach kurzem Anätzen. Überall da, wo die „Soll“-Linien nicht angeätzt wurden, zieht man sie nochmals, dieses Mal ohne Papier, mit dem Bleistift nach. Sobald dieser auf dem Material schwarze Linien hinterläßt, sind auch diese Partien ätzbar.

3.222 Abtrag durch Stichel

Hierzu wird wie in Abschnitt 3.1 zunächst auf der Folie das Trennlinienmuster gezeichnet oder durchgepaust. Erst dann folgt der Überzug mit Wachs oder Stearin.

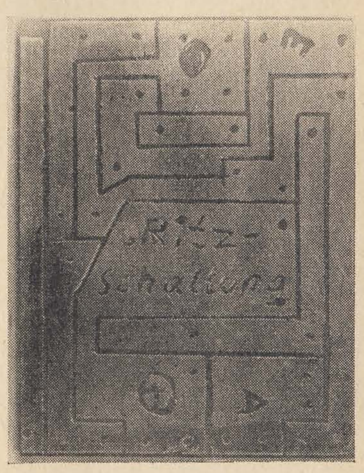


Bild 34. Im Wachsabtragverfahren entstandenes, geätztes Muster

Im Falle einer gepausten Zeichnung wird die Platte etwas stärker erwärmt, damit sich die Schicht möglichst ohne Streichen verteilt, da sonst das gepauste Muster leicht verschmiert. Mit einem Stichel werden nun längs eines Lineals Rillen entsprechend dem aufgezeichneten Muster in die Schicht gegraben. Recht brauchbar ist hierfür eine Ziehfeder, die auf etwa 1 mm Strichbreite gestellt wird und somit zunächst zwei parallele Linien in den Überzug gräbt. Dann wird die Angriffsrichtung um 90 ° geändert. Die Breitseite der Feder schabt nun zwischen diesen beiden Linien die Schicht heraus. Ein weicher Pinsel entfernt die Reste. Nachdem auch die Körnerpunkte angebracht wurden, ist die Platte zu einer kurzen Kontrollätzung fertig. Auch hier erkennt man wieder Stellen, die nachgekratzt werden müssen, daran, daß sich das Kupfer durch das Ätzen nicht verfärbt hat.

Bild 34 zeigt die erste vom Verfasser auf diese Weise hergestellte Leiterplatte (24 × 32 mm), deren Anfertigung nach Vorliegen des Leitungsmusters als Transparentzeichnung im Maßstab 1 : 1 einschließlich Ätzen nur eine Stunde in Anspruch nahm. Man erkennt, daß sich relativ komplizierte Trennlinienmuster auf diese höchst einfache Art schnell gewinnen lassen, wenn das Muster aus geraden Linien besteht. Die weniger gut erschienene Schrift beweist, daß es unbedingt notwendig ist, jede Linie zweimal zu ziehen, damit alle Reste der Deckschicht entfernt werden.

### 3.3 Das fotomechanische Verfahren — Prinzip

In Abschnitt 1.241 wurde bereits eine kurze Darstellung dieses Verfahrens zur Erzeugung eines ätzfesten Leitungsbildes auf der Halbzeugplatte gegeben. Ergänzend ist noch zu bemerken, daß der lichtempfindliche Lack dünn und gleichmäßig sein soll, weshalb die Schicht meist in einer oft angewärmten Horizontalschleuder getrocknet wird. Als lichtempfindliche Substanz, die sogenannte Sensibilisierung, findet oft ein Chromsalz Verwendung, z. B. Ammoniumbichromat,

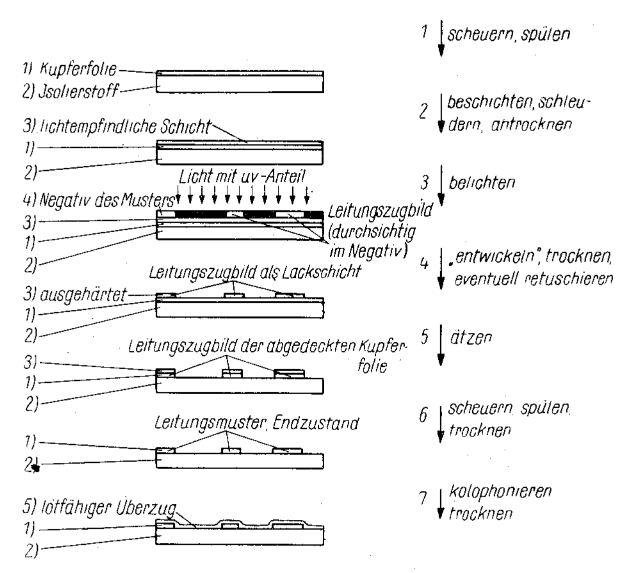



Bild 35. Fotomechanisches Verfahren — Prinzip

dessen Ionen bei Lichteinfall ihre Wertigkeit ändern und dabei die organische Trägersubstanz (Schellack, Eiweiß u. ä.) in ihrer Umgebung gerben, so daß diese dort unlöslich wird. In einem geeigneten Lösungsmittel werden danach alle löslich gebliebenen Teile des kopierten Musters entfernt. Das Lösungsmittel ist meist angefärbt, damit man die Möglichkeit einer optischen Kontrolle besitzt.

Im getrockneten Zustand liegt nun eine exakte Abbildung des Negativs in Form eines ätzfesten Leitungsmusters vor. Bild 35 faßt noch einmal die einzelnen Arbeitsgänge zusammen.

### 3.4 Das fotomechanische Verfahren in der Industrie

Für die Serienherstellung von Leiterplatten finden, wie bereits in Kapitel 1 geschildert, vorwiegend Sieb- und Offsetdruck Verwendung. Dort ist es nicht notwendig,

daß jede einzelne Halbzeugplatte mit einer lichtempfindlichen Schicht versehen wird; sämtliche Arbeitsgänge vom Beschichten über die Belichtung bis zum Herauslösen der unbelichteten Teile entfallen. Diese Vorgänge spielen sich nur einmal in ähnlicher Form ab, nämlich dann, wenn Druckschablone oder Druckstock hergestellt werden.

In zwei Fällen hat das fotomechanische Verfahren aber große Bedeutung. Es gibt Anwendungen, die gedruckte Spulen relativ kleiner Dimensionen mit vielen Windungen erfordern, so daß die dabei auftretenden geringen Leiterbreiten andere Verfahren ausschließen. Der zweite Fall tritt weit häufiger auf. Jedes Gerät, das zur Fertigungsreife und damit zur Serienproduktion gelangen soll, muß bekanntlich bestimmte Entwicklungsstufen durchlaufen. Erfahrungsgemäß ändert sich das Leitungsmuster dabei mehrmals, wenn auch oft nur in Kleinigkeiten. Es wäre daher sinnlos, sofort vom ersten Entwurf den Druckstock für die Serie anzufertigen und von ihm zunächst nur einige Labormuster zu gewinnen. Viel geringer im Aufwand ist für solche kleinsten Stückzahlen das fotomechanische Verfahren. Es gibt daher heute kaum noch eine Entwicklungsstelle elektronischer Geräte, die nicht über eine Laborausrüstung zur Herstellung von Leiterplatten nach dem fotomechanischen Verfahren verfügt. Wie sieht diese Grundausrüstung aus?

### 3.41 Beschichtung

Die gut gesäuberte Halbzeugplatte passender Größe muß mit der lichtempfindlichen Schicht versehen und getrocknet werden. Gleichmäßige Verteilung und Trocknung übernimmt eine Horizontalschleuder, wie sie auch im grafischen Gewerbe benutzt wird. Man spannt die Platte dort waagerecht ein. Sie rotiert im beschichteten Zustand so lange, bis die Schicht gleichmäßig verteilt und oberflächlich angetrocknet ist.

### 3.42 Belichtung

Die Belichtungseinrichtung besteht im allgemeinen aus einer Kohlebogen- oder Quecksilberhochdruck-Lampe und einem Kopiertisch. Dieser besitzt eine aufklappbare Glasplatte, unter die beschichtetes Halbzeug und Negativ übereinandergelegt und meist durch ein Gummituch von unten gegen das Glas gedrückt werden, wenn zwischen Glas und Gummi die Luft herausgepumpt wird (Vakuum-Kopiertisch). Das Negativ kann auf eine Weise entstanden sein, wie es in Kapitel 2 geschildert wurde, für erste Muster z. B. auch ohne Kamera, oder mit einer Reprokamera von der vergrößerten Zeichnung, sobald das endgültige Muster vorliegt.

### 3.43 „Entwicklung"

Nach dem Belichten werden lediglich noch eine Wanne für das Lösungsmittel benötigt sowie ein kleiner Ofen, damit die Schicht schneller fest wird. Pinsel und Decklack zum Retuschieren von Fehlstellen vervollständigen die Ausrüstung.

### 3.44 Ätzen

Den Ätzvorgang übernimmt eine Maschine, bei der das Bad mechanisch bewegt und dadurch gegen die außerhalb der Flüssigkeit angebrachte Platte geschleudert wird. So kommt eine den Ätzprozeß fördernde günstige Mischung von Ätzflüssigkeit und Luft zustande. Bescheidener eingerichtete Labors, die aber über Preßluftanschluß verfügen, benutzen einen im Ätzbad angebrachten Rechen aus durchlöcherten Glas- oder Kunststoffröhren, durch die Luft geblasen wird, so daß auch hier ein Ätzbad-Luft-Gemisch an die darüber angebrachte Platte gelangt. Eine solche Ätzeinrichtung, die auch zum Nachbau geeignet ist, zeigt Bild 36. Statt des Anschlusses an Preßluft, die in den wenigsten Fällen vorhanden sein wird, kann auch eine Luftpumpe unter Vorschaltung eines Ventils verwendet werden.

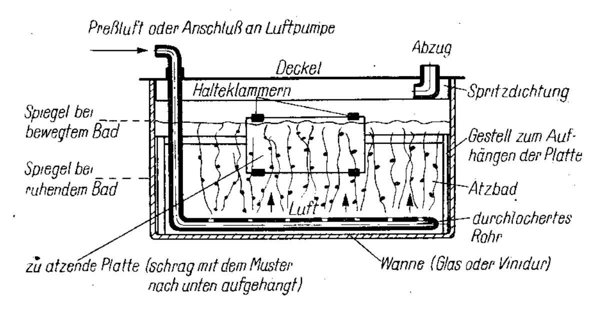



Bild 36. Ätzeinrichtung mit Luftantrieb

## 3.5 Das fotomechanische Verfahren für den Amateur

### 3.51 Arbeitsgänge

#### 3.511 Halbzeugvorbereitung

Die Halbzeugplatte soll das Muster möglichst allseitig um einige Millimeter überragen. Das hat mehrere Gründe. Einmal gelingt es nur nach längerer Übung, eine bis zum Rand gleichmäßige Schicht zu erzeugen. Zweitens besteht immer die Gefahr, daß Ätzbad in die Schnittkanten eindringt und später, in feuchter Umgebung, das Leitungsmuster angreift. Eine sorgfältige Nachbehandlung der geätzten Platte begegnet dieser Gefahr (s. 3.7). Einer gleichmäßigen Lackverteilung kommt das Entgraten der zugeschnittenen Platte entgegen. Versäumt man es, so bildet sich leicht ein Wulst von Lack, der beim Belichten nicht durchhärtet und beim „Entwickeln“ weggespült wird.

Die Oberfläche der Kupferfolie muß nun mit einem Lappen oder Filz, Wasser und einem Putzmittel (ATA fein) völlig fett- und oxydfrei gemacht werden. Danach darf keine Berührung dieser Fläche mit der Hand erfolgen, damit der Kopierlack einwandfrei haftet. Sobald das Spülwasser die Platte ohne Inselbildung benetzt, ist sie zur Beschichtung bereit.

3.512 Beschichten

Im Handel sind z. Z. zwei Sorten Kopierlack erhältlich: Potsdamer Kopierlack H 124 des VEB Lack- und Druckfarben Halle und Klöco-Röhler-Kopierlack der Fa. Klötzer & Co., Leipzig C 5. Beide liefert das Versorgungskontor Papier und grafischer Bedarf. Sie sind jedoch nur begrenzt haltbar (man rechne lediglich mit sechs bis acht Wochen, wenngleich gute Lieferungen weit länger benutzbar sind). Nach Ansetzen mit Sensibilisierung muß der Lack aber, auch wenn er verschlossen gehalten wird, noch am gleichen Tage verwendet werden. Daher wird man stets nur die sofort benötigte Menge mischen. Zu beiden Lacken erhält man Sensibilisierung (beim Klöco-Lack Chromierung genannt). Für Potsdamer Kopierlack beträgt das Mischungsverhältnis Lack : Sensibilisierung etwa 10 : 1, beim Klöco-Lack 20 : 1. Beide Sorten werden in 1-l-Flaschen gehandelt. Potsdamer Kopierlack ist billiger als Klöco-Lack (weniger als 5,– DM/l).

Es kann vorkommen, daß beim Mischen ein unlöslicher Niederschlag entsteht. Außerdem verursachen Schmutzteilchen später Fehlstellen. Daher wird der sensibilisierte Lack in einem Trichter mit etwas Watte oder Filtrierpapier gereinigt. Alle Gefäße sind bei Nichtgebrauch dicht zu verschließen.

Man kann sowohl die feuchte als auch die trockene Halbzeugplatte beschichten. Die noch feuchte Platte hat den Vorzug, daß sich der Lack leichter verteilt und die Gefahr der Bildung unlöslicher Schleier geringer ist. Der Lack darf während der Verarbeitung weder grellem Tageslicht noch Temperaturen über etwa 35 °C ausgesetzt werden, damit er löslich bleibt. Künstliches Licht von einer normalen 40-W-Lampe aus einiger Entfernung oder eine dunklere Ecke des Zimmers ist zu empfehlen.

Wird in einer Schleuder beschichtet, so muß deren Anfangsgeschwindigkeit so groß sein, daß sofort aller überschüssiger Lack von der Platte getrieben wird. Da-

nach sollte die Geschwindigkeit soweit verringert werden, daß zwar ein guter Trocknungseffekt erzielt wird, aber besonders in Plattenmitte befindliche, noch feuchte Stellen nicht mehr durch die Fliehkraft über den bereits angetrockneten Rand getrieben werden und Schleuderspuren hinterlassen. Diese Spuren bilden später meist die Ursache größerer Fehlstellen im Muster.

Man darf auch nicht zu lange trocknen. Fühlt sich die Oberfläche samtartig an, so ist der richtige Trocknungsgrad erreicht. An den Ecken oder an der Ablaufkante (wenn die Platte ohne Benutzung einer Schleuder einfach hochkant gestellt wurde) können Lacktropfen haftengeblieben sein. Diese müssen unbedingt entfernt werden. Gelangt ein solcher Tropfen auf das Negativ, so verhindert er an dieser Stelle bei der nächsten Belichtung ein Aushärten der Schicht, da seine Chromierung das ultraviolette Licht besonders stark schwächt.

Manche Menschen reagieren auf das im Sensibilisator enthaltene Chromsalz mit Hautausschlägen. Daher sollte das Beschichten mit Gummihandschuhen erfolgen, bzw. sind die Hände nach einer Berührung mit dem sensibilisierten Lack sofort zu waschen.

### 3.513 Belichten

Bei der Belichtung ist weiterhin darauf zu achten, daß die Schicht nicht zu warm wird. Das gilt besonders für die von den schwarzen Stellen des Negativs abgedeckten Partien, die ja löslich bleiben sollen. Schwarz nimmt aber viel Wärme auf und gibt sie gerade an diese Schichtstellen weiter. Bei Lichtquellen mit starker Wärmeentwicklung belichte man daher mit Unterbrechungen oder kühle mit einem Ventilator. Ist die Intensität einer Lichtquelle unbekannt, liegt eine neue Lackcharge vor oder läßt die begrenzte Dichte des Negativs keine allzulange Belichtung zu, so ermittelt man durch stufenweises Abdecken eines ersten Musters die günstigste Zeit. Beispiel: Die Platte wird je eine

Minute lang zunächst zu einem Viertel belichtet, dann zur Hälfte usw., so daß das erste Viertel schließlich vier, das letzte aber nur eine Minute lang Licht erhielt. Im Lösungsmittel zeigt sich dann, welche Zeit unter den gegebenen Bedingungen die richtige ist.

### 3.514 „Entwickeln“

Zum Herauslösen der unbelichteten Lackflächen (nicht ganz korrekt „Entwickeln“ genannt) dient Brennspiritus, der zur besseren Erkennbarkeit des Musters wieder, z. B. mit Kopierstiftmine, gefärbt sein kann. Die Platte wird am besten in eine Vinidurzange geklemmt und, ohne daß sie den Boden berühren und zerkratzt werden kann, mit dem Muster nach unten in den Spiritus gebracht. Nach etwa zwei Minuten kontrolliert man. Das Muster muß leicht erhaben und blau gefärbt sichtbar sein. An den unbelichteten Stellen muß sich das Kupfer durch Anblasen freilegen lassen. Stark gequollene Schichten werden vorsichtig in kaltem bis handwarmem Wasser abgespült, weniger oder nicht gequollene schnell abgebraust. Der Übergang muß schnell erfolgen, sonst entsteht ein die Ätzung behindernder Schleier. Ist dieser Fall eingetreten, so kann unmittelbar nach dem Abspülen mit einem feuchten, sandfreien Wattebausch durch vorsichtiges Wischen versucht werden, den Schleier zu entfernen. Das gelingt aber nicht immer, man scheuert dann besser ab und beginnt von vorn, eventuell unter Variieren von Mischungsverhältnis des Lackes mit dem Sensibilisator sowie von Trocken- und Belichtungszeit.

### 3.515 Korrekturen

Kleinere Lokalschleier werden abgekratzt, Fehlstellen im Lack mit Duosan abgedeckt. Ohne Anfärben des Entwicklers kommt man aus, wenn die entwickelte Platte zur Kontrolle kurz angeätzt und danach erst korrigiert wird.

Die Schicht muß nun mindestens eine Stunde an der Luft oder etwa zehn Minuten bei maximal 60 °C getrocknet werden, damit sie dem Ätzbad widersteht.
Nun liegt, wie bei den anderen bereits geschilderten Verfahren, wiederum ein ätzfestes Leitungsmuster vor. Es bleibt zu fragen, mit welchen Hilfsmitteln es entstand.

### 3.52 Hilfsmittel

#### 3.521 Vorbehandlung

Neben einer Säge (Laub- oder Kreissäge) zum Zuschneiden der Platten werden für diese Arbeiten noch eine Feile zum Entgraten, ein Lappen oder Filz, ATA und Wasser benötigt.

#### 3.522 Beschichten

Zum Ansetzen des Lackes dienen zwei Meßzylinder, etwa 25 $cm^3$ für die Sensibilisierung und 100 bis 250 $cm^3$ für den Lack selbst. Ein Trichter, Watte und ein Glasbecher für etwa 250 $cm^3$ Inhalt werden zum Filtern der sensibilisierten Lösung benötigt. Alle diese Gefäße sind sofort nach Gebrauch gründlich zu reinigen, da der Lack im getrockneten Zustand sehr fest an Glas haftet. Prinzipiell ist es natürlich möglich, die beschichtete Platte einfach schräg aufgestellt zu trocknen. Man erhält dabei jedoch stets eine unterschiedliche Dicke und damit u. U. eine Reihe unangenehmer Folgen: Zu dicke Schichten härten infolge der abschirmenden Wirkung des Chromsalzes nur oberflächlich aus und schwimmen im Lösungsmittel weg, zu dünne dagegen sind dem Ätzbad gegenüber zu porös. Weit günstiger ist es schon, die beschichtete Platte horizontal auf irgendeine Art in Rotation zu versetzen. Abhängig von der Dickflüssigkeit des Lackes sind zwischen 40 und 160 U/min günstig. Dünnerer Lack wird bei der langsameren Geschwindigkeit geschleudert.

Für das Schleudern gibt es die verschiedensten Möglichkeiten. Am primitivsten erscheint der Vorschlag, eine Wanne geeigneter Größe (eine solche Wanne ist zur

Bild 37. „Fadenschleuder"

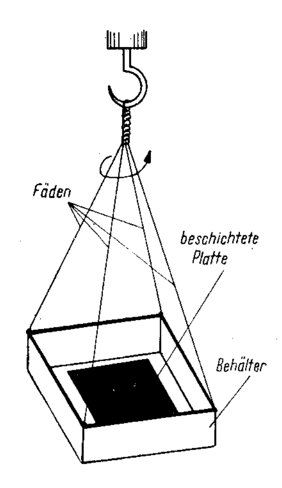
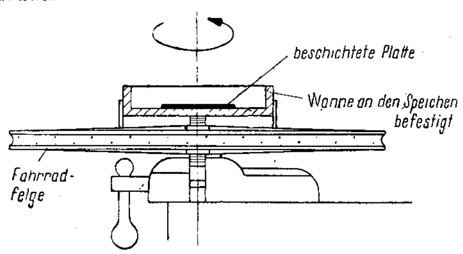



Bild 38. Aus einer Fahrradfelge hergestellte Schleuder




Verhütung von Spritzern stets zu empfehlen) an den Ecken mit gleichlangen Fäden zu versehen, an diesen aufzuhängen und die Vorrichtung in Rotation zu versetzen, nachdem man sie im entgegengesetzten Sinne „aufgezogen" hat. Bild 37 regt zum Nachbau dieser einfachen Vorrichtung an.
Besitzer eines alten Plattenspielermotors (es kann auch ein solcher mit Federaufzug und Geschwindigkeitsregulierung sein) können sich leicht eine Motorschleuder aufbauen. Steht gar ein Gleichstrom-Nebenschluß-

motor zur Verfügung, so kann man durch veränderbare Vorschaltwiderstände im Ankerkreis die Drehzahl in weiten Grenzen variieren. Aber auch eine alte Fahrradfelge läßt sich als rotierender Träger verwenden. Man spannt sie an der Achse von unten horizontal ein (Bild 38) und gibt ihr von Hand den nötigen Antrieb, bevor man sie frei weiterlaufen läßt.

3.523 Belichten

Zum Kopieren kann, abhängig vom größten zur Verwendung kommenden Plattenformat, ein handelsüblicher oder ein im Eigenbau entstandener Fotokopierrahmen benutzt werden, der Negativ und Halbzeug gut zusammenpreßt. Bei der Belichtung größerer Platten ist wegen einer möglichen Durchwölbung dickes Glas zu empfehlen. Allerdings schwächt dies die Intensität des einfallenden Lichtes stärker, und es muß länger belichtet werden. Liegen Negativ und Schicht nicht überall dicht aufeinander, so können die Abdeckungen „unterstrahlt" werden, und es tritt eine Verlagerung oder Verbreiterung der Leitungszüge ein, was unscharfe Ränder ergibt (Bild 39). Eine einwandfreie Entwicklung wird dadurch in Frage gestellt. In diesem Zusammenhang sei noch darauf hingewiesen, daß für sehr genaue Kopien Zeichnung oder Negativ so anzufertigen ist, daß die Tuscheschicht bzw. die geschwärzten Negativpartien direkt mit der Lackschicht in Berührung kommen. Ein dickes Negativmaterial, besonders Glas, birgt stets Unterstrahlungsgefahr, wenn die Bildschicht auf der dem Lack abgewandten Seite liegen muß (siehe ebenfalls Bild 39).

Als Lichtquellen scheiden übliche Glühlampen und Leuchtröhren aus. Sehr einfach und billig im Gebrauch ist Mittagssonne im Sommer. Schon nach zwei bis vier Minuten, je nach Dicke der Glasplatte, Durchlässigkeit des Negativmaterials (Transparent z. B. braucht länger) und Dunstmenge in der Luft ist das Muster an den belichteten Stellen ausgehärtet. Unabhängig von der Wetterlage wird man mit einer Quecksilberlampe („Höhensonne"), wie sie in vielen Haushalten zu finden

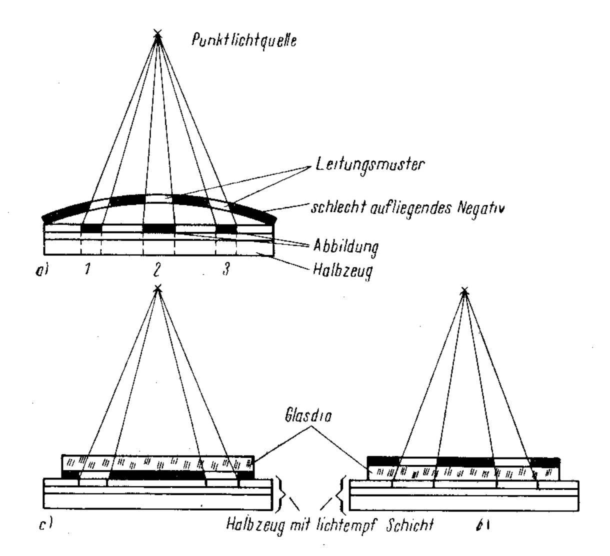



Bild 39. Kopierfehler
a) schlecht aufliegendes Negativ (Teil 1, 2, 3 werden breiter, Teil 1 und 3 außerdem versetzt wiedergegeben)
b) Glasdiapositiv mit falsch liegender Schichtseite
c) Glasdiapositiv in einwandfreier Lage

ist. Auch eine Fotolampe von 250 W ergibt nach etwa 20 Minuten bei 20 cm Abstand ein ätzfestes Muster, wenn die entstehende Wärme durch einen Ventilator oder kürzere Teilbelichtungen auf ein ungefährliches Maß herabgedrückt wird.

### 3.524 „Entwickeln"

Dazu eignet sich jedes Gefäß mit einer Bodenfläche, die mindestens gleich dem größten zur Verarbeitung gelangenden Plattenformat ist, einschließlich der doppelten Dicke der Halteklammer. Der Entwickler (Brennspiritus), der mit Kopierstiftmine angefärbt sein kann, ist nur bei Gebrauch in dieses Gefäß zu geben und sonst verschlossen zu halten.

Da die Farbe im Spiritus unangenehme Flecken verursachen kann und sich auch von den Händen schlecht entfernen läßt, werden Klammern zum Einhängen der Platten benötigt. Man fertigt sie aus etwa 2 mm dickem PVC hart („Vinidur“) an. Ein passender Streifen wird dazu in der Mitte über Gas oder dem Lötkolben plastisch gemacht und zu einem V-Stück gebogen. Die Enden schlitzt man etwa 5 mm tief ein, so daß ein Kamm entsteht, von dem jeder zweite Zinken ebenfalls im warmen Zustand nach innen gebogen wird. Diese Zinken halten die eingespannte Platte, während die gerade gebliebenen die empfindliche Lackschicht vor einer Berührung mit dem Boden des Gefäßes und damit vor dem Zerkratztwerden schützen (Bild 40).

## 3.525 Korrekturen

Zum Abdecken von Fehlstellen mit gefärbtem Duosan verwendet man einen feinen Pinsel. Mit einer Ziehfeder lassen sich Lackstellen, die nicht zum Muster gehören, herauskratzen. Bei einiger Vorsicht kann der Lack über der Gasflamme außerhalb des Flammenkegels getrocknet werden oder in der Nähe einer Glühbirne.

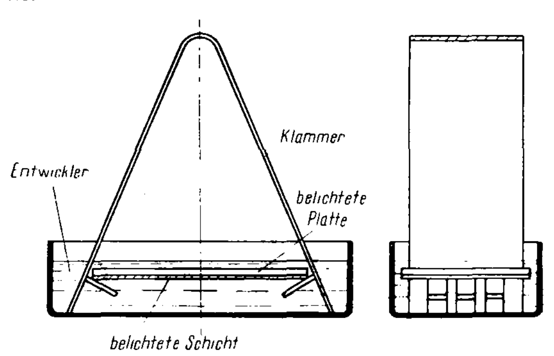



**Bild 40. Zweckmäßige Entwicklerklammer im Einsatz**

### 3.6 Ätzen

Die Beschreibung dieses Arbeitsganges wurde bewußt an den Schluß der Ausführungen gestellt, da er unabhängig vom Verfahren der Aufbringung der Deckschicht stets als letzter notwendig wird. Man verwendet dazu meist eine Lösung von technischem Eisen-III-Chlorid ($FeCl_3$) in Wasser. Die Lösung soll, damit sie möglichst lange benutzt werden kann, eine Dichte von etwa 1,4 haben, doch sind Abweichungen davon, besonders nach unten, für den Amateur völlig unkritisch. Vorsicht ist beim Ansetzen geboten, da besonders das wasserfreie Eisen-III-Chlorid eine stark exotherme Reaktion zeigt und Glasgefäße dabei zerspringen können. Außerdem setzen Staub und Dämpfe beim Auflösen, wenn man sie einatmet, die Geschmacksbecher der Zunge für einige Tage außer Funktion. Es schmeckt dann alles nach Seife. Flecken in der Kleidung lassen sich kaum entfernen. Am günstigsten setzt man deshalb die Lösung im Freien an und verwendet jeweils nur kleine Mengen. Für Platten bis zum Format DIN A 6 genügen etwa 0,2 l Wasser, dem man unter ständigem Rühren mit einem Glas- oder Holzstab 100 g wasserfreies oder 150 g kristallisiertes Eisen-III-Chlorid langsam zusetzt. Das geschieht am besten in einer flachen, wärmebeständigen Kunststoff- oder Steingutwanne. Die warme Lösung kann schon ab etwa 40 °C zum Ätzen benutzt werden. Beim Verfahren nach Abschnitt 3.22 sollte allerdings erst bis auf Zimmertemperatur abgekühlt werden, damit der Überzug nicht schmilzt und die Trennlinien überdeckt.

Eine Berührung der Flüssigkeit mit der Haut hinterläßt gelbe Flecken, die sofort abgespült werden sollten. Es ist daher günstiger, die Hände mit Vaseline einzufetten oder Gummihandschuhe zu benutzen.

Mit Hilfe einer Fotoklammer legt man die Platte mit dem Muster nach oben schräg in die Wanne und streicht mit einem großen weichen Pinsel (Bild 41) oder einem Wattebausch Ätzflüssigkeit darüber. Luftzutritt und Zwischenspülungen mit Wasser fördern den Prozeß.

Das Bad gilt als erschöpft, wenn sich die Ätzzeit gegenüber der ersten Platte verdoppelt hat, wenn gleiche Muster geätzt werden und alle anderen Bedingungen unverändert blieben. Infolge seines niedrigen Preises lohnt der Versuch einer Regenerierung des Ätzbades nicht, man setzt dann besser ein neues an.
Hersteller von Eisen-III-Chlorid ist der VEB Berlin-Chemie Adlershof. Man bezieht es in einer kleinsten Menge von 1 kg über die DHZ Chemie oder den Fachhandel. Achtung! Zwischen „technischem" und „analysenreinem" besteht ein großer Preisunterschied! Benötigt wird nur das billige technische.
Eine kleine Ätzmaschine zum Eigenbau, mit der sich die Ätzzeit gegenüber der eben beschriebenen Weise auf etwa ein Drittel herabsetzen läßt, sei zum Schluß beschrieben. Allerdings erfordert ihr Nachbau einiges technisches Geschick. Voraussetzung ist ein genügend großes Glas- oder besser PVC-Gefäß, das bis auf ein Entlüftungsrohr gut verschließbar sein muß. Der Deckel, der auf jeden Fall aus leicht zu bearbeitendem Kunststoff bestehen muß, wird mit einem PVC-Rohr versehen, das oben ein Lager für eine ebenfalls aus Kunststoff bestehende Achse enthält. Diese Achse wird



Bild 41. Ätzen mit Pinsel

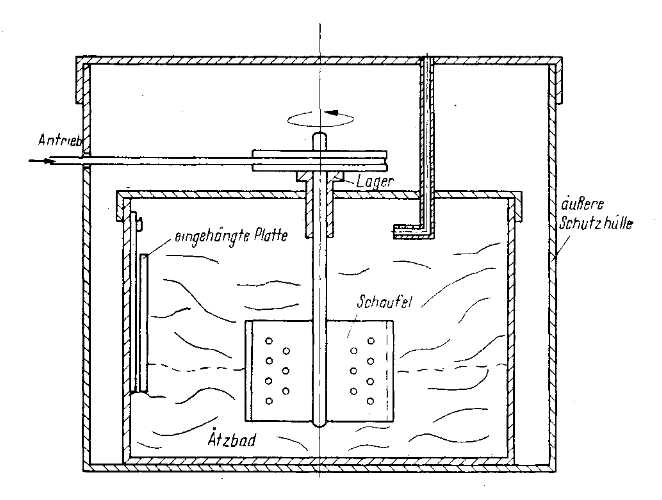



Bild 42. Schaufelätzmaschine

im Inneren des Gefäßes mit einem mehrfach durchbohrten PVC-Flügel versehen. Das herausragende Ende erhält ein Antriebsrad. An dieses kann z. B. ein kleinerer Motor (etwa der der Schleuder) angeschlossen werden. Der Leistung dieses Motors muß der Flüssigkeitsspiegel angepaßt werden. Das läßt sich mit Wasser ausprobieren. Die Ätzlösung selbst ist dann allerdings infolge ihrer größeren Dichte etwas schwerer.

Die zu ätzende Platte wird dicht an der Wand senkrecht in den Behälter gehängt, der dann gut verschlossen werden muß. Zur Sicherheit sollte diese Ätzmaschine noch mit einer Haube (z. B. mit einem Kartondeckel) versehen werden. Dann setzt man das Flügelrad in Bewegung. Schon nach wenigen Minuten ist die eingehängte Platte durch das mit Luft vermischte, angesprühte Bad geätzt, während die Ätzrückstände durch den Anprall der Flüssigkeit gelöst werden und an der Platte entlang nach unten gleiten.

Dauert das Ätzen einer unbewegt in die Eisen-III-Chlorid-Lösung eingelegten Platte bei einwandfreier Kopie etwa 45 Minuten und die Ätzung mit Pinsel 15 Minuten, so genügen in einer Ätzmaschine ähnlich Bild 36 oder 42 im Durchschnitt 5 Minuten. Es ist daher von der Menge der zu verarbeitenden Platten abhängig, ob der Bau einer solchen Einrichtung für den Amateur lohnt. Zu empfehlen ist er aber auf jeden Fall dann, wenn in einem Radioklub öfter mit gedruckten Schaltungen gearbeitet wird. Allerdings sollte in diesem Falle zunächst versucht werden, ob etwa in einem Betrieb des grafischen Gewerbes eine ausgediente Maschine dieser Art zu erhalten ist. Vielleicht gelingt dort sogar die Beschaffung anderer notwendiger Einrichtungen, z. B. einer Motorschleuder oder einer Kopierlampe.

### 3.7 Nachbehandlung

Unabhängig von der Art der Entstehung des Musters auf dem Halbzeug muß die geätzte Platte einer Nachbehandlung unterzogen werden, bevor sie als lötfähiges Leitungsmuster der Weiterverwendung zugeführt werden kann.

Der Träger der Kupferfolie besteht im allgemeinen aus Hartpapier. Dieses nimmt aber bei der Verarbeitung stets eine gewisse Menge Flüssigkeit auf. Beim Ätzen enthält diese Flüssigkeit aggressive Substanzen, die sowohl in die Schnittkanten der Platte, die dafür besonders empfindlich sind, eindringt, als sich auch im Kleber anreichert. Die Plattenrückseite ist durch die glatte Preßhaut zwar weniger anfällig, doch wird sie beim Scheuern vor dem Beschichten meist beschädigt. Wenn man diese Substanzen nach dem Ätzen nicht aus dem Hartpapier entfernte und die Platte dann trocknete, so würde diese zwar zunächst gute elektrische Eigenschaften zeigen, später aber merklich schlechter werden. Das geschieht, sobald sie wieder mit Feuchte (höhere Luftfeuchte genügt) in Berührung kommt. Die Ätzrückstände können dann die Leiterzüge angreifen und langsam auflösen. Das macht sich zunächst meist

als Dunkelfärbung des Kupfers bemerkbar, der grüne Salzbildung folgt, bis schließlich oft an dünnen Stellen Leiterunterbrechungen eintreten.

Eine andere Folge dieser Verunreinigungen kann, besonders bei schmalen Trennlinien, das Auftreten von schlechter werdenden Isolationswerten zwischen den Leitern sein. Dabei wirken teils die durch die Feuchte ionisierten, im Kleber und im Hartpapier verbliebenen Verunreinigungen selbst als leitende Strecken, teils verursachen sie sekundär besonders bei höherer anliegender Gleichspannung Materialwanderungen. Hierfür sind besonders versilberte Leiter anfällig.

### 3.71 Spülen

Die einfachste Maßnahme gegen diese Effekte besteht darin, die geätzte Platte einige Zeit (etwa 15 bis 30 Minuten) in fließendes Wasser zu geben. Dadurch sinkt die Konzentration der Verunreinigungen im Material bereits beträchtlich. Die anschließende Trocknung beseitigt die verbliebene Feuchte.

### 3.72 Neutralisieren

In der Großproduktion wird der Prozeß des Wässerns manchmal dadurch verkürzt, daß die Platten nach kurzer Spülung zunächst mit einer etwa fünfprozentigen Ammoniaklösung in Berührung gebracht und danach nochmals gespült werden.

### 3.73 Abwaschen

Auf irgendeine Weise ist die ätzfeste Deckschicht vom Kupfer wieder zu entfernen. Zwar hat es Versuche gegeben, den ätzfesten Lack gleichzeitig lötfähig zu gestalten, so daß der Arbeitsgang seiner Entfernung entfällt. Bisher brachten diese Versuche aber noch nicht den gewünschten Erfolg. Das ist zum Teil darin begründet, daß auch die Deckschicht eine gewisse Ätzbadmenge aufnimmt, die später, besonders während der Lagerung bis zur Weiterverarbeitung, auf das Kupfer

einwirken kann. Dadurch geht dann die Lötfähigkeit durch Bildung von Kupferverbindungen doch wieder verloren.

Für Offset- und Siebdruckfarben existieren leicht zu handhabende Lösungsmittel. Weit schwieriger ist es dagegen, Kopierlack auf Schellackbasis abzulösen. Daher hat es sich allgemein eingeführt, diesen mit einem geeigneten Mittel abzuscheuern. Für den Amateur kommt hier wieder ATA fein in Frage, mit dessen Ammoniakgehalt gleichzeitig ein Neutralisierungseffekt erzielt wird. Von Retuschen herrührende Duosanflecken, die dem Scheuern einen größeren Widerstand entgegensetzen, sollte man vorher mit Azeton anlösen. Der Vorgang des Scheuerns hat den Vorteil, daß gleichzeitig auch eine recht brauchbare Reinigung der Isolierstoffoberfläche erfolgt, so daß längeres Wässern überflüssig wird. Man spült daher die blankgescheuerte Platte nur kurz ab und trocknet mit einem Tuch.

### 3.74 Schutzüberzug

Die saubere, zunächst oberflächlich trockene Leiterplatte soll bis zur Weiterverarbeitung (Sägen, Bohren, Bestücken) lötfähig bleiben, d. h., die Folie darf nicht oxydieren. Das einfachste Mittel gegen Oxydation besteht in einer leichten Fettung der Oberfläche mit säurefreier Vaseline, wie sie in jeder Drogerie erhältlich ist. Das erschwert erfahrungsgemäß den späteren Lötvorgang nicht, wenn etwas in Spiritus gelöstes Kolophonium kurz vor dem Löten auf die Lötstelle gegeben wird.

Eleganter ist es jedoch, die Platte bereits mit einem lötfähigen Überzug zu versehen. Unter Verzicht auf zur Korrosion in feuchter Umgebung neigende Beimengungen, wie z. B. Harnstoff, verwendet man im allgemeinen eine filtrierte Lösung von etwa 100 g Kolophonium in 200 ml Brennspiritus. Filtrieren ist notwendig, da das im Handel erhältliche Kolophonium stets Verunreinigungen enthält, die eine unschöne Färbung der Schicht hervorrufen.

Von dieser Lösung wird mit einem Pinsel eine kleine Menge schnell über die Platte verteilt, bevor durch Verdunstung die Trocknung einsetzt. Nur so erhält man eine blanke Oberfläche. Im Ofen bei etwa 60 bis 70 °C wird die Platte dann getrocknet. Zwar ist die Schutzschicht danach nicht mehr klebrig, doch sollte eine Berührung mit der Hand vermieden werden, besonders bei der Weiterverarbeitung. In die Schicht eingedrückte Bohr- oder Sägespäne können die spätere Lötung in Frage stellen.

### 3.8 Kontrolle der Leiterplatte

Bereits vor dem Ätzen wurde das kopierte, entwickelte Muster auf Vollständigkeit überprüft und durch Retuschen von Fehlstellen befreit. Das ist aber aus mehreren Gründen noch keine absolute Garantie für einwandfreie Leiter.

#### 3.81 Lackfehler

Der Lack kann die Folie unterschiedlich decken. Beim Schleudern können noch einzelne Tropfen die Homogenität des Überzuges gestört haben oder der Lack ist, sei es durch sein Alter, durch falsche Behandlung oder andere Faktoren, in seiner Gesamtheit porös. Das geübte Auge erkennt dies bereits an der stumpfen Oberfläche solcher Stellen. Dort kann es vorkommen, daß beim Ätzen durch den Lack hindurch das Kupfer angegriffen wird, manchmal bis zum Hartpapier. Solche Stellen können die Ursache von Unterbrechungen oder zumindest Widerstandserhöhungen der Leiter sein. Meist blättert die Schicht dann sogar schon während des Ätzens an diesen Stellen ab. Solche Platten sind dadurch sehr häufig unbrauchbar.

#### 3.82 Kratzer

Wird zum Scheuern eine ungeeignete Substanz benutzt, so entstehen manchmal Kratzer, die, wenn sie nicht bereits die Folie durchstoßen, doch einen Teil derselben gratartig aufwerfen. An diesem Grat vermag sich beim

Beschichten der Lack nicht zu halten. Wie ein Messer durchschneidet der Grat die dünne Lackschicht beim Schleudern. Beim Ätzen liegt er damit frei und bietet dem Bad eine Angriffslinie. So können diese haarfeinen Kratzer bis zum Träger durchgeätzt werden, was man bei der Draufsicht nicht sofort erkennt. Zunächst muß das auch noch gar nicht zu einer elektrischen Unterbrechung führen, bis dann durch mechanische oder chemische Einwirkung der Leiter geteilt wird. Vorbeugend sollte man daher bereits beim Retuschieren solche Kratzer überdecken.

### 3.83 Fehler in der Folie

Auch die Elektrolyt-Kupferfolie weist manchmal im Anlieferungszustand kleine Fehlstellen auf, die, treffen sie unglücklicherweise später mit einem Leiter zusammen, diesen — wenn er sehr schmal ist — unterbrechen können. Ähnlich wirken sich Schmutzteilchen im Kopierlack aus, die durch das Ätzbad herausgewaschen werden und ebenfalls Löcher in der Folie verursachen können.

### 3.84 Fehlerkontrolle

Alle diese Fehler, sobald sie zu einer Beeinflussung der elektrischen Eigenschaften der Leiter führen, müssen beseitigt, also zunächst erkannt werden. Hierfür ist eine kleine Durchleuchtungseinrichtung sehr zweckmäßig. Man kann für sie die Glasplatte des Kopierrahmens verwenden, unter der ein Transparentpapier zur Verteilung des Lichtes und eine genügend starke Lichtquelle angeordnet werden (Bild 43). Auf dieser Glasplatte angebracht, wird die Leiterplatte von hinten durchleuchtet und offenbart in den meisten Fällen ihre Fehlstellen. Kratzer, die in Draufsicht zwar zu erkennen sind, aber noch nicht durchscheinen, behandelt man vorsichtshalber wie Fehlstellen.

### 3.85 Beseitigung der Fehler

Kleine Unterbrechungen, die doch hin und wieder auftreten können (ihre Zahl ist bei weitem nicht so groß, wie ihre Besprechung es vielleicht vermuten ließe),

werden durch schnelles Überlöten der bereits mit Kolophonium überzogenen Platte leicht repariert. Man vermeide unbedingt zu langes oder öfteres Löten, damit die Haftung der Folie an diesen oft sehr schmalen, da ursprünglich nicht als Lötstellen gedachten Stellen nicht in Frage gestellt wird.

Ist die Platte nur gefettet, so empfiehlt sich zunächst an solchen Punkten die Benutzung eines Glaspinsels. Danach wird dort Lötmittel aufgetragen.

Mit Beendigung dieser Arbeitsgänge liegt die fertige Leiterplatte vor. Ihre Weiterverarbeitung auf dem Wege zur vollständigen gedruckten Schaltung, die Selbstherstellung vieler moderner Bauelemente und Baugruppen in dieser Technik und Gerätebeispiele – das wird den Inhalt der zweiten Broschüre zu diesem Thema bilden.

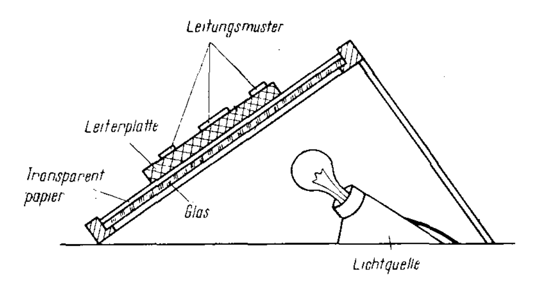



Bild 43. Durchleuchtungseinrichtung zum Prüfen der Leiterplatte

## 4. LITERATURHINWEISE

Die Zahl der Veröffentlichungen auf diesem Gebiet ist bereits sehr groß. Dabei handelte es sich zunächst vorwiegend um fremdsprachige Literatur. Es ist das Verdienst des Autors von [2], davon einen sehr großen Teil gesichtet und ausgewertet zu haben, so daß auf der industriellen Seite die Angabe weiterer Literatur überflüssig erscheint. Zur Vertiefung des Gebotenen kann daher immer wieder nur auf dieses Werk verwiesen werden.

Speziell für den Amateur ist dagegen bisher sehr wenig erschienen. Vom Verfasser, der diese Technik sowohl von der Warte der Industrie als auch von der des Amateurs aus betrachtet und mit ihr gearbeitet hat, stammen u. a. [3] und [4]. Die vorliegende Arbeit basiert hauptsächlich auf diesen vier Veröffentlichungen.

Literatur zum vorliegenden Thema:

[1] Cermak, W.: Handbuch des Siebdrucks.
Fachbuchverlag Leipzig, 1958.

[2] Seidel, G.: Gedruckte Schaltungen.
VEB Verlag Technik, Berlin und Berliner Union, Stuttgart, 1959.

[3] Schlenzig, K.: Technologie von Leiterplatten.
Nachrichtentechnik, 9 (1959) Heft 8.

[4] Schlenzig, K.: Ein Transistoraudion in gedruckter Schaltung.
radio und fernsehen, 7 (1958) Heft 22.

Literatur zur Gerätetechnik:

Siehe Artikelserie im „funkamateur" 1961 (Heft 6 bis 10) und 1962 (Heft 1 und 2) sowie die dort angeführte Literatur.

# Transistortechnik für den Funkamateur

2. Auflage

von Hans-Joachim Fischer

**256 Seiten, 240 Bilder, Halbleinen mit Schutzumschlag**
**Preis: etwa 9,00 DM**

Der Autor behandelt einleitend die geschichtliche Entwicklung der Transistortechnik von 1880 bis zur Gegenwart, die physikalischen Grundlagen der Transistoren, einiges über deren Herstellung, den Leitfähigkeitsmechanismus und die ph-Schicht, die Arten der Transistoren und anderer Halbleiterbauelemente. Weiterhin werden die elektrischen Kennwerte der Transistoren und ihre Messung dargestellt, Röhren und Transistoren verglichen, die praktischen Anwendungsgebiete der Transistoren als Schalter, als Spannungs- und Leitungsverstärker sowie ihr Einsatz bei der Impulserzeugung, bei NF- und HF-Oszillatoren untersucht. Zahlreiche Schaltzeichnungen und einzelne Bauanleitungen vervollständigen die interessante Neuerscheinung. Der Titel wird bei Praktikern, Funkamateuren, in den Stationen Junger Techniker und bei interessierten Laien Beachtung finden.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung



VERLAG SPORT UND TECHNIK




Preis: 1,90 DM

VERLAG SPORT UND TECHNIK